INSTITUTUL DE ÎNVĂŢĂMÎNT SUPERIOR
CONSTANŢA

ELENA COMES
asistent univ.

CULEGERE DE TEXTE ŞTIINŢIFICE IN LIMBA FRANCEZA

CONSTANŢA
— 1981 —

INSTITUTUL DE ÎNVĂŢĂMÎNT SUPERIOR
CONSTANŢA

ELENA COMES
asistent univ.

CULEGERE DE TEXTE ŞTIINŢIFICE IN LIMBA FRANCEZA

Curs de bază
pentru uzul studenţilor

CONSTANŢA
— 1981 —

Scanned with OKEN Scanner

CUVÎNT INTRODUCTIV

"Culegerea de texte ştiinţifice în limba franceză" propune spre studiu texte autentice, extrase din lucrări de specialitate din domeniul ştiinţelor fundamentale care stau la baza învăţămîntului politehnic: matematică, fizică, chimie, avînd ca scop familiarizarea studenţilor cu stilul ştiinţific caracteristic.

Criteriile de selectare a textelor au fost de natură lingvistică, urmărind modalităţile specifice de exprimare a gîndirii ştiinţifice ca demers intelectual de analiză şi raţionament ce presupune operaţii logice fundamentale ca: definirea noţiunilor, enunţarea şi demonstrarea teoremelor, înlănţuirea judecăţilor în raţionamente, enunţarea unor legi şi principii, deacrierea şi explicarea unor fenomene şi experienţe, propunerea şi rezolvarea de exerciţii şi probleme.

Aranjarea textelor în cele cinci secţiuni ale culegerii urmăreşte tocmai ordinea acestor operaţii logice care, transpuse în acte de vorbire ca cele de a emite o ipoteză, a descrie şi a explica, a clasifica, a deduce etc., postulează folosirea unui limbaj ştiinţific caracterizat prin termeni specializaţi, printr-o sintaxă bazată pe utilizarea preferenţială a anumitor structuri şi îmbinări sintactice mai puţin întîlnite în limba curentă, printr-o anumită organizare a discursului.

Pentru păstrarea contextului ştiinţific specific fiecăruia din domeniile ilustrate, nu am fragmentat textele ci le prezentăm grupate în capitole aşa cum apar ele în lucrările din care au fost extrase. Fac excepţie textele care prezintă grupate în scop didactic mai multe teoreme, experienţe, legi, exerciţii şi probleme aparţinînd unor lucrări sau capitole diferite.

Culegerea cuprinde următoarele secţiuni:

A. Texte din domeniul matematicii: Notions et définitions générales (théorie des ensembles et géométrie); Théorèmes (analyse et géométrie); Exercices et problèmes.

B. Texte din domeniul mecanicii: Statique(définitions, propriétés, principes); Cinématique (définitions, exemples de mouvements); Dynamique (relation fondamentale); Exercices et problèmes.

C. Texte din domeniul electricităţii: Expériences d'électrostatique, d'électrocinétique, d'électromagnétisme; Lois (Loi de Joule,

d'Ohm, de Faraday, de Kirchhoff); Exercices et problèmes.

D. Texte din domeniul chimiei anorganice: Notation chimique et classification des éléments; Étude du mécanisme des réactions chimiques; Description d'un élément chimique: le carbone(propriétés physiques et chimiques); Exercices et problèmes.

E. Texte din domeniul chimiei organice: Historique et définition de la chimie organique; Caractères des substances organiques; Mécanisme des réactions organiques; Classification des réactions organiques; Exercices et problèmes.

In culegere sînt inserate de asemenea, ca anexe, liste de simboluri utilizate în matematică, fizică şi chimie, însoţite de explicitarea lor în limba franceză şi destinate realizării unei lecturi corespunzătoare a textelor, în care astfel de simboluri sînt deosebit de frecvente.

Ca anexă a culegerii este prezentat şi "Vocabularul general de orientare ştiinţifică, francez - român", care constituie transcrierea şi traducerea în limba română a termenilor cuprinşi în "Vocabulaire général d'orientation scientifique", publicat de C.R.E.D.I.F., Paris 1971.

In ceea ce priveşte metodologia utilizării textului autentic de limbaj specializat. posibilităţile pe care le oferă acesta profesorului de limbi străine sînt indiscutabile şi destul de numeroase pentru a nu încerca prezentarea lor exhaustivă în rîndurile de faţă.*) Amintim doar o serie de puncte de reper care pot călăuzi cadrul didactic în exploatarea acestui gen de texte:

- utilizarea textului ca punct de plecare pentru predarea tematică a vocabularului specializat pentru un domeniu sau altul;
- relevarea raporturilor dintre vocabularul general şi cel ştiinţific, împrumuturile într-un sens şi în celălalt şi schimbarea de sens care rezultă;
- semnalarea aspectelor de morfo-sintaxă frecvente în astfel de texte în vederea sistematizării şi fixării lor ca trăsături caracteristice stilului ştiinţific (legate de precizie, obiectivitate, concizie);
- studierea mecanismelor care stau la baza structurii frazei specializate în scopul înţelegerii corecte unui asemenea tip de enunţ şi a producerii unor enunţuri similare;
- sesizarea şi analiza elementelor specifice discursului ştiinţific aşa cum se defineşte acesta prin operaţiile logice ce presupun anu-

---

*) Pentru o amplă informare privind limbajele de specialitate şi metodica predării lor, a se vedea: P.Miclău, A.Cuniţă, T.Cristea, O.Gălăţanu, J.Drăghicescu, D.Roventa-Frumuşani "Introduction à l'étude des langues de spécialité", Universiatea din Bucureşti, 1980 şi S.Burdea, D.Neguş, C.Stoenescu, L.Chirvai "Metodica predării francezei tehnice", Ed.Did. şi Ped., Bucureşti 1980.

mite raporturi sintactice şi anumiţi articulatori logici etc.

Aceste indicaţii metodologice de ordin general sînt desigur doar sugestii pentru activitatea cadrelor didactice care pot folosi textul autentic în diverse moduri, punîndu-i în valoare resursele, convertindu-l într-un instrument pedagogic eficient în predarea limbajului ştiinţific.

Autoarea

Scanned with OKEN Scanner

MATHÉMATIQUES

NOTATIONS ET DÉFINITIONS GÉNÉRALES

I. ENSEMBLES

a) Étant donné un ensemble E d'éléments quelconques (nombres, points, etc.), la relation d'appartenance

$a \in E$ (lire: a appartient à E)

exprime que a est l'un des éléments de E. La relation d'égalité, $a = b$, exprime que a et b désignent le même élément.

Tout élément particulier de E peut être considéré comme une valeur d'un élément variable qui décrit E.

On dit qu'un ensemble est vide s'il ne contient aucun élément. On appelle réunion de deux ensembles E et E' l'ensemble des éléments qui appartiennent à E ou à E' ; intersection de E et de E', l'ensemble des éléments qui appartiennent à E et à E'.

b) Étant donné un autre ensemble C, la relation d'inclusion

$C \subset E$ (lire: C est partie de E, ou sous-ensemble de E) exprime que tout élément de C appartient à E : cela n'exclut pas l'égalité $C = E$, qui résulterait des deux inclusions $C \subset E$ et $E \subset C$.

c) On appelle suite un ensemble dont les éléments sont rangés dans un ordre déterminé: premier élément, deuxième élément, etc.

Si l'ensemble E est infini, le ranger en une suite revient à établir une correspondance biunivoque entre ses éléments et ceux de l'ensemble des entiers positifs 1, 2, ..., n, ...: si cela est possible, on dit que l'ensemble E est dénombrable.

II. FONCTIONS, OU APPLICATIONS

a) On appelle fonction (ou transformation) opérant de E dans E' ou encore application de E dans E', une correspondance qui, à tout élément de E, associe un élément unique d'un autre ensemble E': on dit que cette correspondance est univoque de E vers E'.

Soit f une telle correspondance. On note $f(x)$ l'élément de E' associé par f à l'élément x de E. Si x décrit E, $f(x)$ est une nouvelle variable: on dit encore que c'est une fonction de x, définie sur E et prenant ses valeurs dans E'.

Scanned with OKEN Scanner

b) C étant une partie de E, on note f(C) l'ensemble (partie de E') des éléments f(x) tels que $x \in C$. Nous emploierons surtout cette notation en Géométrie: f désignant une transformation ponctuelle (homothétie, inversion, etc.) et C étant une courbe ou une surface, lieu d'un point M, on notera f(M) le point transformé de M et f(C) la transformée de C, c'est-à-dire le lieu de f(M) quand M décrit C.

En particulier, f étant une application de E dans E', on a $f(E) \subset E'$. Si f(E) est identique à E', on dit que f est une application de E sur E', ou encore une transformation de E en E' : tout élément de E' est le transformé d'un élément (au moins) de E.

III. PRODUITS D'APPLICATIONS

a) Soient f une application de E dans E', g une application de E' dans un troisième ensemble E". Nous emploierons la notation de produit à gauche, soit g.f, pour désigner le produit de f par g. C'est en effet l'application de E dans E" qui, à l'élément x de E, associe successivement :

dans E', $x' = f(x)$; dans E", $x'' = g(x') = g[f(x)]$.

Soulignons que nous emploierons exclusivement, dans le sens envisagé ici, les expressions produit d'applications et produit de transformations: l'expression "produit de fonctions" introduirait un risque excessif de confusion, dans le cas de variables scalaires, avec le produit de f(x) par g(x).

b) Considérons une troisième application h (de E" dans un quatrième ensemble E'"). Soit h.(g.f) le produit de g.f par h : à tout x de E, il associe dans E'", avec les mêmes notations qu'en (a), l'élément h(x"). Au même élément x, le produit de f par h.g, soit (h.g).f, associe

$$h.g(x') = h[g(x')] = h(x'').$$

Concluons que h.(g.f) et (h.g).f désignent la même transformation : h.(g.f) = (h.g).f. Nous les confondrons dans la notation h.g.f.

Nous venons d'établir que tout produit de transformations est associatif.

IV. APPLICATIONS INVERSES

a) Soit f une application de E sur E' (ou transformation de E en E'): pour tout $x' \in E'$, il existe au moins un x de E tel que $f(x) = x'$. S'il est unique, on dit que la correspondance établie par f entre les éléments de E et ceux de E' est biunivoque: elle définit alors, en sens inverse, une application de E' sur E, qu'on appelle

application inverse (ou transformation inverse) de f. Nous la noterons f^{-1}. Sa définition s'explicite donc comme suit:

Pour $x \in E$ et $x' \in E'$ les relations $x' = f(x)$ et $x = f^{-1}(x')$ sont équivalentes.

Inversement, il est clair que f est inverse de f^{-1}: on dit que les applications f et f^{-1} sont inverses l'une de l'autre.

b) Présentons cette définition autrement en introduisant la transformation identique, ou transformation unité (notée 1) qui transforme tout élément en lui-même: son produit par toute application f, à gauche ou à droite est évidemment f.

Pour tout $x \in E$, on a $f^{-1}[f(x)] = f^{-1}(x') = x$. Pour tout $x' \in E'$ on a $f[f^{-1}(x')] = f(x) = x'$. Donc $f^{-1}.f = f.f^{-1} = 1$.

Réciproquement, soient f une application de E dans E' et φ une application de E' dans E telles que $f.\varphi = \varphi.f = 1$. Pour $x \in E$ et $x' \in E'$, la relation $x' = f(x)$ entraîne $\varphi(x') = \varphi[f(x)] = x$; inversement la relation $x = \varphi(x')$ entraîne $f(x) = f[\varphi(x')] = x'$: les relations $x' = f(x)$ et $x = \varphi(x')$ sont équivalentes. Il s'ensuit que toutes les deux sont des "applications sur", inverses l'une de l'autre. Donc:

Pour qu'une application f (de E dans E') et une application φ (de E' dans E) soient biunivoques, et inverses l'une de l'autre, il faut et il suffit qu'on ait $f.\varphi = \varphi.f = 1$.

V. NOTIONS D'ALGÈBRE GÉNÉRALE: LOIS DE COMPOSITION INTERNE

On appelle loi de composition interne, dans un ensemble E d'éléments quelconques, une loi L qui associe, à tout couple (a,b) d'éléments de E, un troisième élément de E: on l'appelle composé de a et de b, dans cet ordre. Nous le noterons a L b (qui deviendra a + b si L est une loi d'addition, ab ou a.b si c'est une loi de multiplication).

VI. GROUPES

a) Définition. - On dit que l'ensemble E, muni de la loi de composition interne L, est un groupe (additif si L est une loi d'addition, multiplicatif si c'est une loi de multiplication) si la loi L jouit des propriétés suivantes, appelées axiomes des groupes:

G_1) associativité : définissant aLbLc par (aLb)Lc, on a aLbLc = aL(bLc);

G_2) existence d'un élément "neutre", soit $e \in E$, tel que, pour tout

$a \in E$, on ait $aLe = eLa = a$;

G_3) existence, pour tout $a \in E$, d'un élément "symétrique", soit $a' \in E$, tel que $aLa' = a'La = e$.

Pour une loi d'addition, e est appelé élément nul (noté 0), les éléments symétriques (tels que $a + a' = a' + a = 0$) sont dits opposés. Pour une loi de multiplication, e est appelé élément unité (noté 1), les éléments symétriques (tels que $aa' = a'a = 1$) sont dits inverses.

b) Propriétés générales

1° L'associativité s'étend, pour le composé de plusieurs éléments, à un nombre quelconque d'éléments consécutifs:

$$aLbLcLd = (aLbLc)Ld = [aL(bLc)]Ld = aL[(bLc)Ld] = aL(bLcLd).$$

2° L'égalité $aLc = bLc$ entraîne $a = b$: car, c' étant le symétrique de c, elle entraîne $aLcLc' = bLcLc'$, c'est-à-dire $aL(cLc') = bL(cLc')$, c'est-à-dire $aLe = bLe$, c'est-à-dire $a = b$. De façon tout analogue, l'égalité $cLa = cLb$ entraîne $a = b$: c'est ce qu'on exprime en disant qu'il est légitime de "simplifier par c", à gauche comme à droite.

3° Il suit de là, notamment, que l'élément neutre est unique, ainsi que le symétrique d'un élément quelconque: $aLe' = a = aLe$ entraîne $e' = e$, $aLa'' = e = aLa'$ entraîne $a'' = a'$.

4° Enfin, l'opération L admet une opération inverse: quels que soient $a \in E$ et $b \in E$, il existe un élément x de E et un seul tel que $a = bLx$.

Car, s'il existe, on a (b' étant le symétrique de b):

$$b'La = b'L(bLx) = (b'Lb)Lx = eLx, \quad \text{c'est-à-dire} \quad x = b'La.$$

Réciproquement, posant $x = b'La$ (prendre garde à l'ordre), on a bien

$$bLx = bL(b'La) = (bLb')La = eLa = a.$$

c) Cas particulier: groupes abéliens

Un groupe est dit abélien (ou, plus simplement, commutatif) s'il vérifie en outre l'axiome de commutativité:

G_4) quels que soient $a \in E$ et $b \in E$, $aLb = bLa$.

Outre la simplification qui en résulte pour les définitions de l'élément neutre et des éléments symétriques, de nouvelles propriétés apparaissent.

1° La commutativité s'étend, pour le composé d'une suite d'éléments en nombre quelconque, à une modification quelconque de leur ordre. Car, d'une part, on peut toujours réaliser cette modification par un certain nombre de transpositions d'éléments consécutifs; d'autre part, la transposition de deux éléments consécutifs quelconques ne modifie pas

le composé:

$$aLbLcLd = aL(bLc)Ld = aL(cLb)Ld = aLcLbLd.$$

2° Comme conséquence, l'associativité joue également pour des éléments quelconques, non nécessairement consécutifs.

3° Enfin, la solution unique de l'équation $a = bLx$ peut s'écrire indifféremment $x = b'La$ ou $x = aLb'$, b' étant toujours le symétrique de b.

Exemples

1. Les entiers (positifs, négatifs ou nuls) forment un groupe additif abélien. La solution unique de l'équation $a = b + x$ est la différence $x = a - b$ (qu'on peut écrire $a + b'$ ou $b' + a$, b' étant l'opposé de b).

2. Les nombres fractionnaires strictement positifs (zéro exclu) forment un groupe multiplicatif abélien. La solution unique de l'équation $a = bx$ (pour $b \neq 0$) est le quotient $x = \frac{a}{b}$ (qu'on peut écrire ab_1 ou b_1a, b_1 étant l'inverse de b). La possibilité de "simplifier" $ac = bcx$ en $a = bx$ revient (pour $c \neq 0$, soulignons-le encore) à celle d'effectuer la réduction $\frac{ac}{bc} = \frac{a}{b}$.

VII. ANNEAUX

a) Définition. - On appelle anneau un groupe abélien additif dans lequel est définie, en outre, une multiplication jouissant des deux propriétés suivantes:

A_1) associativité: $a(bc) = (ab)c$ (qu'on note abc);

A_2) distributivité, à gauche et à droite, par rapport à l'addition:

$$(a + b)c = ac + bc, \qquad a(b + c) = ab + ac.$$

Un exemple est fourni par l'ensemble des entiers (positifs, négatifs ou nuls). Un autre sera fourni par l'ensemble des polynômes de x.

b) Propriétés générales

1° Dans un anneau, tout produit dont un facteur est nul, est nul. Car on a d'après (A_2):

$$ab = a(b + 0) = ab + a.0, \quad \text{d'où} \quad a.0 = 0;$$
$$ba = (b + 0)a = ba + 0.a, \quad \text{d'où} \quad 0.a = 0.$$

2° Si b et b' sont opposés, ab et ab' le sont, ainsi que ba et b'a:

$$ab + ab' = a(b + b') = a.0 = 0, \qquad ba + b'a = (b + b')a = 0.a = 0.$$

Comme conséquence (a' étant l'opposé de a):

$$a'b' + ab' = 0, \quad ab + ab' = 0, \quad \text{d'où} \quad a'b' = ab.$$

On voit qu'on étend, en somme, la célèbre "règle des signes".

3° La distributivité s'étend aux différences. Par exemple:

$$(a - b)x = (a + b')x = ax + b'x = ax - bx.$$

4° Enfin, elle s'étend aux sommes (et aussi, par conséquent, aux "sommes algébriques") d'un nombre quelconque de termes:

$$(a + b + c)x = [(a + b) + c]x = (a + b)x + cx = ax + bx + cx,$$
$$(a+b+c)(x+y) = (a+b+c)x + (a+b+c)y = ax + bx + cx + ay + by + cy.$$

c) Cas particulier : anneaux commutatifs

Un anneau est dit commutatif si sa loi de multiplication est elle-même commutative: toutes les précautions concernant l'ordre des facteurs deviennent alors superflues.

On observera que la plupart des identités célèbres de l'Algèbre élémentaires sont établies, en fait, pour les anneaux commutatifs. Par exemple:

$(a + b)^2 = (a + b)(a + b) = a^2 + ba + ab + b^2$, qui ne se réduit à $a^2 + 2ab + b^2$ que si $ab = ba$;

$(a + b)(a - b) = a^2 + ba - ab - b^2$, qui ne se réduit à $a^2 - b^2$ que sous la même hypothèse de commutativité.

VIII. CORPS

a) Définition. - On appelle corps un anneau dont la loi de multiplication est une loi de groupe pour l'ensemble des éléments non nuls.

Les deux axiomes suivants s'ajoutent donc à ceux des anneaux:

C_1) existence d'une unité (telle que, pour tout $a \in E$, $a.1=1.a=a$)

C_2) existence, pour tout $a \neq 0$, d'un inverse a_1 (tel que $aa_1 = a_1a = 1$).

b) Propriétés générales

Qu'un corps soit commutatif ou non (c'est-à-dire que sa loi de multiplication soit commutative ou non), les axiomes (C_1) et (C_2) suffisent à lui assurer les nouvelles propriétés suivantes (s'ajoutant, bien entendu, aux propriétés générales des groupes et des anneaux).

1° La distributivité s'étend aux quotients : notant c_1 l'inverse de c, on a

$$\frac{(a + b)}{c} = (a + b)c_1 = ac_1 + bc_1 = \frac{a}{c} + \frac{b}{c}.$$

2° Dans un corps, pour qu'un produit soit nul, il faut et il suffit que l'un des facteurs le soit.

La condition étant suffisante pour tout anneau, il suffit de vérifier qu'elle est nécessaire. C'est immédiat pour le cas de deux facteurs: si l'on a, par exemple, $ab = 0$ et $a \neq 0$, on en déduit, a_1 étant l'inverse de a,

$$0 = a_1ab = (a_1a)b = 1.b = b.$$

L'extension à plusieurs facteurs, de proche en proche, va de soi.

Soulignons qu'un corps est un groupe additif (d'ailleurs abélien) sans aucune restriction, mais il n'est groupe multiplicatif que pour l'ensemble des éléments non nuls. C'est pourquoi, par exemple, $x + z = y + z$ entraîne toujours $x = y$, tandis que $xz = yz$ n'entraîne $x = y$ que si $z \neq 0$; autrement dit, l'équation $xz = yz$ admet les solutions $x = y$ et $z = 0$, et n'admet que celles-là, comme on le voit aussi en l'écrivant $(x - y)z = 0$.

IX. NOTION D'ISOMORPHISME

Soient E et E' deux structures, c'est-à-dire deux ensembles munis de certaines relations: nous supposerons ici qu'un certain nombre de relations R soient définies entre les éléments de E et qu'autant de relations R' soient définies entre les éléments de E'. Soit f une application biunivoque de E sur E'. On dit que cette application est un isomorphisme si chacune des relations R, entre éléments de E, équivaut à la relation correspondante R' entre leurs transformés par f.

Ainsi, si R (a,b) désigne une relation binaire, c'est-à-dire une relation (telle que l'égalité $a = b$ ou l'inégalité $a \leqslant b$) entre deux éléments de E, les relations R (a,b) et R'[f(a),f(b)] sont équivalentes. Si L est une loi de composition interne, les relations $c = aLb$ et $f(c) = [f(a)L'f(b)]$ sont équivalentes.

Si les ensembles E et E' sont identiques, l'isomorphisme f prend le nom d'automorphisme.

R. GOUYON - PRÉCIS DE MATHÉMATIQUES SPÉCIALES
III-ème éd. Paris, Vuibert, 1961

G É O M É T R I E [x)]

Objet de la Géométrie

La Géométrie est l'étude de l'espace, des points, des droites, des plans, et, d'une manière générale, de toutes les figures de l'espace.

L'espace est l'ensemble des points; nous le notons: E. Les points sont les éléments de l'espace. Les figures géométriques sont les parties ou encore les sous-ensembles de l'espace.

Nous commençons par rappeler et préciser les axiomes de la Géométrie.

Les axiomes sont les seules assertions que nous n'avons pas besoin de démontrer : nous les admettons.

Les théorèmes sont les assertions que nous déduisons des axiomes : nous les démontrons.

Notion de droite

Axiome 1 : Par deux points distincts A et B, il passe une droite et une seule.

Nous en déduisons:

1° Deux droites qui ont deux points communs distincts sont confondues.

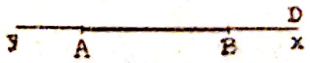
2° Deux droites distinctes ont au plus un point commun.

Axiome 2 : Toute droite contient une infinité de points.

Axiome 3 : L'espace contient au moins trois points non alignés.

Segments de droite

1° Soient deux points distincts A et B d'une droite D.



Désignons par x le sens de A vers B et par y le sens de B vers A.

Nous appelons segment de droite d'extrémités A et B l'intersection de la demi-droite fermée Ax et de la demi-droite fermée By; nous notons ce segment $[A,B]$ ou $[B,A]$.

---

x) Textes extraits du manuel de Monge,M. et Hée,J.Y.- "Géométrie", Librairie Classique Eugène Belin, Paris, 1970.

TRIANGLES

Définition d'un triangle

Considérons trois points A, B, C non alignés. Désignons par D, D', D'' les supports respectifs des segments [B,C], [C,A], [A,B], et par P_1, P_2, P_3 les demi-plans fermés limités respectivement par les droites D, D', D'' et qui contiennent les trois points A,B,C.

Définition : On appelle triangle ABC l'intersection des trois demi-plans fermés P_1, P_2, P_3.

Les points A,B,C sont les sommets du triangle; les segments [B,C], [C,A], [A,B] sont les côtés du triangle.

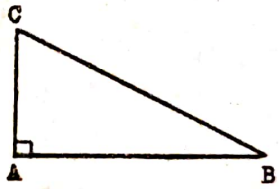
Les angles saillants [AB,AC], [BC,BA], [CA,CB] sont les angles intérieurs du triangle; lorsqu'il n'y a pas ambiguïté, ils sont notés simplement: A, B, C.

Le triangle ABC est contenu dans chacun de ses trois angles intérieurs et est égal à l'intersection de ceux-ci.

TRIANGLE RECTANGLE

Définition : On appelle triangle rectangle un triangle dont un angle est droit.

Un triangle ABC est dit rectangle en A si l'angle A est un angle droit. Le côté [B,C] est alors appelé hypoténuse du triangle rectangle.



Remarques

1°Un triangle ABC ne peut avoir plus d'un angle droit.

En effet, si, par exemple, les angles A et B étaient droits, les supports des côtés [A,C] et [B,C] seraient deux droites sécantes perpendiculaires au support du côté [A,B], ce qui est en contradiction avec le théorème d'unicité de la perpendiculaire menée par un point à une droite.

2°Dans un triangle rectangle, les côtés de l'angle droit sont plus courts que l'hypoténuse.

Angles d'un triangle rectangle.

Théorème : Dans un triangle rectangle, les deux angles qui ne sont pas droits sont des angles aigus.

Les deux cas d'égalité des triangles rectangles

Premier cas d'égalité

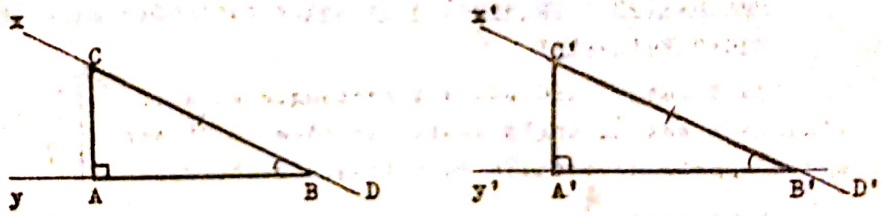
Pour que deux triangles rectangles soient égaux, il suffit que leurs hypoténuses soient égales et qu'un angle aigu du premier soit égal à un angle aigu du second.

Considérons deux triangles ABC et A'B'C' rectangles en A et en A'. Supposons que les hypoténuses $[B,C]$ et $[B',C']$ soient égales et que les angles aigus B et B' soient égaux.

Désignons par P et P' les plans qui contiennent respectivement les points A,B,C, et les points A',B',C', par D et D' les droites qui contiennent respectivement les points B et C, et les points B' et C', par Bx et By les demi-droites fermées d'origine B qui contiennent respectivement les points C et A, par B'x' et B'y' les demi-droites fermées d'origine B' qui contiennent respectivement les points C' et A', et enfin par P_1 et P'_1 les demi-plans fermés de frontières respectives D et D' qui contiennent l'un le point A, l'autre le point A'.

Nous savons qu'il existe une isométrie unique g du plan P sur le plan P' qui transforme Bx en B'x' et P_1 en P'_1.

Cette isométrie transforme le point B en le point B'.



Elle transforme le point C en un point C'' qui vérifie les relations : $C'' \in B'x'$, $B'C'' = BC = B'C'$; le point C'' est donc confondu avec le point C'.

Cette isométrie transforme aussi la demi-droite By et le point A en une demi-droite B'y'' et en un point A'' du demi-plan P'_1. Les angles saillants $[B'x',B'y']$ et $[B'x',B'y'']$ sont tous deux égaux à l'angle saillant $[Bx,By]$; ils sont égaux entre eux. Ces deux angles saillants ont en commun le côté B'x', et ils sont tous deux contenus dans le demi-plan P'_1 ; ils sont donc confondus.

Il en résulte que le point A'' appartient à la demi-droite B'y'.

Enfin, l'isométrie g transforme l'angle droit $[AB,AC]$ en un angle droit $[A''B', A''C']$. Les supports des segments $[C',A']$ et $[C',A'']$ sont tous deux perpendiculaires au support de la demi-droite B'y', et ils

ont en commun le point C'; ces deux supports sont donc confondus.

Il en résulte que les points A' et A'' sont confondus.

L'isométrie $\mathcal{S}$ transforme B en B', C en C', et A en A'. Elle transforme le triangle ABC en le triangle A'B'C'; ces deux triangles sont donc égaux.

DROITES PARALLÈLES

AXIOME D'EUCLIDE

1. Droites parallèles

Soient deux droites D et D' de l'espace.

Nous savons que l'un des trois cas suivants et un seul se produit nécessairement :

a) ou bien l'intersection $D \cap D'$ contient un point unique; on dit alors que les droites D et D' sont sécantes en ce point;

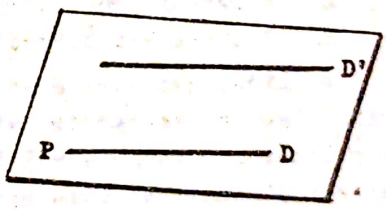
b) ou bien l'intersection $D \cap D'$ contient au moins deux points distincts; les droites D et D' sont alors confondues;

c) ou bien l'intersection $D \cap D'$ est vide.

Définition :

1° On appelle droites parallèles deux droites d'un même plan qui qui sont confondues ou qui n'ont aucun point commun.

2° On appelle droites strictement parallèles deux droites d'un même plan qui n'ont aucun point commun.



Deux droites D et D' de l'espace sont donc parallèles si et seulement si elles possèdent les deux propriétés suivantes:

1. Il existe un plan P qui contient les droites D et D': $(D \cup D') \subset P$.

2. Les droites D et D' sont confondues ou n'ont aucun point commun: $(D = D')$ ou $(D \cap D' = \emptyset)$.

Nous notons alors : $D \parallel D'$, ou encore : $D' \parallel D$.

2. Exemple fondamental :

droites perpendiculaires à une même droite

Considérons dans le plan P, deux droites D et D' perpendiculaires

à une droite Δ de ce plan.

Nous avons établi que, si les droites D et D' ne sont pas confondues, elles n'ont aucun point commun.

Nous énonçons :

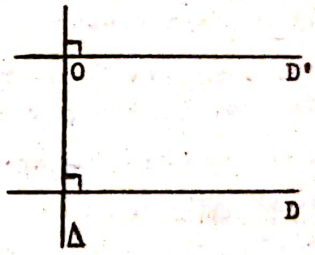
Théorème : Si deux droites d'un même plan sont perpendiculaires à une même droite de ce plan, elles sont parallèles.

3. Existence d'une droite parallèle à une droite donnée et qui passe par un point donné.

Soit une droite D et un point O. Considérons la droite Δ perpendiculaire à la droite D et qui passe par O, puis la droite D' perpendiculaire en O à la droite Δ. Les deux droites D et D' sont perpendiculaires à la droite Δ ; elles sont donc parallèles.

Nous énonçons :

Théorème : Par un point qui appartient ou non à une droite, il passe au moins une parallèle à cette droite.



Si le point appartient à la droite, cette parallèle est confondue avec la droite ; elle est donc unique.

4. Axiome d'Euclide

Nous admettons la propriété suivante, appelée axiome d'Euclide: Par un point qui appartient ou non à une droite, il passe une seule parallèle à cette droite.

Euclide, géomètre grec du III^{e} siècle avant notre ère, tenta d'ordonner les connaissances mathématiques de son temps. Il ne put démontrer l'unicité de la parallèle menée par un point à une droite, et il demanda d'admettre cette propriété en attendant qu'elle fût démontrée.

Après avoir longtemps cherché cette démonstration, les géomètres, vers la fin du XIX^{e} siècle, établirent deux faits très importants :

1° Il n'est pas possible de démontrer l'unicité de la parallèle menée par un point à une droite donnée; mais, si l'on admet cette unicité, on construit une théorie, appelée géométrie euclidienne, qui est la géométrie usuelle.

2° On peut remplacer l'axiome d'Euclide par d'autres axiomes, à partir desquels on établit des constructions logiques, appelées géométries non euclidiennes, et dans lesquelles les figures ont des propriétés différentes.

THÉORÈMES

ÉLÉMENTS DE CALCUL DIFFÉRENTIEL ET APPLICATIONS GÉOMÉTRIQUES

Théorèmes généraux sur le calcul des dérivées et des différentielles

a) Soient u et v deux fonctions d'une variable x. En tout point où elles admettent des dérivées u' et v' :

1° leur somme u + v admet pour dérivée u'+ v';

2° leur produit uv admet pour dérivée u'v + uv';

3° le quotient $\frac{u}{v}$ (en un point où $v \neq 0$) admet pour dérivée $\frac{u'v - uv'}{v^2}$.

Toutes les démonstrations sont du même type. Soit, par exemple, $y = uv$. Soient u_o et v_o les valeurs de u et v en un point x_o, où elles admettent les dérivées u'_o et v'_o. Soient Δu et Δv les accroissements de u et v, et Δy celui de y, quand x passe de la valeur x_o à la valeur $x_o + \Delta x$. On a :

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{(u_o + \Delta u)(v_o + \Delta v) - u_o v_o}{\Delta x} = \frac{\Delta u}{\Delta x} v_o + u_o \frac{\Delta v}{\Delta x} + \frac{\Delta u}{\Delta x} \Delta v.$$

Quand $\Delta x \to 0$ (nullité exclue),

$$\frac{\Delta u}{\Delta x} \to u'_o , \quad \frac{\Delta v}{\Delta x} \to v'_o , \quad \Delta v \to 0, \quad \text{donc} \quad \frac{\Delta y}{\Delta x} \to u'_o v'_o + u_o v_o.$$

b) Diverses extensions sont immédiates.

1° La dérivée d'une constante k étant évidemment nulle, celle de kv est kv'. En particulier, celle de $-v$ est $-v'$; donc celle de $u - v$ est $u' - v'$.

2° Les résultats sur la dérivée d'une somme ou d'un produit s'étendent à un nombre quelconque de fonctions:

$$(u + v + w)' = (u + v)' + w' = u' + v' + w' , \text{ etc.}$$
$$(uvw)' = (uv)'w + uvw' = u'vw + uv'w + uvw' , \text{ etc.}$$

En particulier, quelle que soit la constante positive m, u^m a pour dérivée $mu^{m-1}u'$.

c) Multipliant par dx, on obtient pour les différentielles des

résultats de la même forme:

$$d(u + v) = du + dv, \qquad d(uv) = v\,du + u\,dv,$$

$$d(u^m) = mu^{m-1}du, \qquad d\left(\frac{u}{v}\right) = \frac{v\,du - u\,dv}{v^2}.$$

APPLICATIONS DES DÉRIVÉES DES FONCTIONS D'UNE VARIABLE RÉELLE

Théorème de Rolle

La plupart des applications de la dérivée prennent leur fondement théorique dans ce théorème.

Soit f une fonction satisfaisant aux conditions de régularité suivantes:

H_1) elle est définie et continue sur un certain segment (a, b);

H_2) elle est dérivable en tout point de l'intervalle (a,b).

Si, de plus, on a $f(a) = f(b)$, il existe dans l'intervalle (a,b) un point c, au moins, tel que $f'(c) = 0$.

En effet, x décrivant le segment (a,b), il résulte d'abord de H_1) que f(x) admet une borne inférieure m et une borne supérieure M. Si, posant $f(a) = f(b) = k$, on avait $M = m = k$, f(x) se réduirait à la constante k sur tout le segment (a,b): on aurait donc $f'(x)=0$ en tout point de l'intervalle, et le théorème serait surabondamment établi.

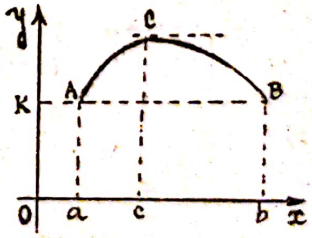
Écartons désormais ce cas en supposant, par exemple, $M > k$. Alors f(x) atteint la valeur M en un point c au moins du segment (a,b) et ce point est distinct de a et de b : donc, d'après H_2), f'(c) existe. Autrement dit, le rapport $\mu = \frac{f(c + h) - f(c)}{h}$ admet une même limite f'(c), que h tende vers zéro par la gauche ou par la droite. Or, si l'on prend |h| assez petit pour que c + h soit dans (a,b), on a toujours $f(c + h) \quad f(c)$. On en déduit:

pour $h < 0$:

$\mu \geqslant 0$, d'où $f'(c) \geqslant 0$;

pour $h > 0$

$\mu \leqslant 0$, d'où $f'(c) \leqslant 0$.



Finalement, on a donc bien $f'(c) = 0$, avec $a < c < b$: le théorème de Rolle est complètement établi.

R. GOUYON - PRÉCIS DE MATHÉMATIQUES SPÉCIALES
III-ème éd., Paris, Vuibert, 1961

FONCTIONS DE VARIABLES RÉELLES

Théorème de Cauchy

C'est l'extension aux fonctions du théorème de Cauchy relatif aux suites.

Soit $f(x)$ une fonction définie sur un intervalle I.

Théorème. - Pour que la fonction $f(x)$ tende vers une limite finie lorsque $x \to x_0$, il faut et il suffit que, à tout nombre positif ε donné, on puisse associer un nombre $\eta(\varepsilon)$ tel que, pour tout couple de points x, x' appartenant à l'intervalle I, et satisfaisant aux inégalités

$$|x - x_0| < \eta(\varepsilon), \qquad |x' - x_0| < \eta(\varepsilon),$$

on soit assuré que:

$$|f(x) - f(x')| < \varepsilon$$

1° Si $f(x)$ tend vers une limite L lorsque $x \to x_0$, il est clair que $|f(x) - f(x')|$ peut être rendu inférieur à ε.

2° Réciproquement, partons de l'hypothèse que

$$|f(x) - f(x')| < \varepsilon,$$

toutes les fois que

$$|x - x_0| < \eta(\varepsilon), \qquad |x' - x_0| < \eta(\varepsilon).$$

Considérons une suite particulière x_n qui converge vers x_0 et étudions la suite $f(x_n)$. ε et $\eta(\varepsilon)$ étant donnés, on peut trouver un nombre N tel que, si

$$n > N, \qquad m > N,$$

on ait

$$|x_n - \lambda_0| < \eta(\varepsilon), \qquad |x_m - x_0| < \eta(\varepsilon),$$

car $\eta(\varepsilon)$ est une fonction bien déterminée de ε. On sait alors que

$$|f(x_n) - f(x_m)| \leqslant \varepsilon$$

et d'après le théorème de Cauchy relatif aux suites, la suite $f(x_n)$ tend vers une limite L. Montrons que L est une limite de la fonction $f(x)$.

Choisissons x et x_n tels que

$$|x - x_0| < \eta(\varepsilon), \qquad |x_n - x_0| < \eta(\varepsilon).$$

Par hypothèse

$$|f(x) - f(x_n)| < \varepsilon.$$

Or $$|f(x) - L| \leqslant |f(x) - f(x_n)| + |f(x_n) - L|.$$

Les deux termes du second membre sont arbitrairement petits, soit à cause des hypothèses initiales, soit par la définition des x_n. Donc $|f(x) - L|$ est arbitrairement petit et $f(x)$ tend vers L.

GÉNÉRALISATION DE LA NOTION D'INTÉGRALE

Théorème de convergence de Cauchy

Si l'on connaît une primitive $F(x)$ de $f(x)$, l'étude et le calcul d'une intégrale généralisée sont des problèmes de limite ordinaires. Mais il arrive fréquemment dans les applications que la primitive $F(x)$ ne soit pas d'un type simple. Il faut donc démontrer la convergence ou la divergence de l'intégrale sans en connaître d'avance une valeur présumée. Le théorème de Cauchy étendu aux suites de fonctions s'applique à la convergence des intégrales généralisées.

Nous supposerons dans tout ce qui suit que la fonction $f(x)$ est continue pour $a \leqslant x \leqslant b - \alpha$, quel que soit α compris entre 0 et $b - a$, ou continue pour $a \leqslant x \leqslant T$, quel que soit $T > a$.

1° Pour que l'intégrale $$\int_a^b f(x)\,dx$$ soit convergente, il faut et il suffit que, quel que soit ε, on puisse trouver $\eta(\varepsilon)$ tel que, si α et α' sont tous deux inférieurs à $\eta(\varepsilon)$ on soit sûr que $$\left| \int_{b-\alpha'}^{b-\alpha} f(x)\,dx \right| < \varepsilon$$

2° Pour que l'intégrale $$\int_a^\infty f(x)\,dx$$ soit convergente, il faut et il suffit que, quel que soit ε, on puisse trouver $T_0(\varepsilon)$ tel que, si T et T' sont tous deux supérieurs à $T_0(\varepsilon)$ on soit sûr que : $$\left| \int_T^{T'} f(x)\,dx \right| < \varepsilon$$

Ces deux théorèmes ne sont autre chose que l'application du théorème de Cauchy à l'existence d'une limite pour la primitive $F(x)$ de $f(x)$. On remarquera qu'ils ne font intervenir que des intégrales ordinaires, non généralisées.

J. BASS - COURS DE MATHÉMATIQUES, tome I
Masson et C^ie Éditeurs, Paris 1968

Scanned with OKEN Scanner

INTÉGRALES DÉFINIES

Théorème des fonctions intégrables

Pour qu'une fonction bornée $f(x)$ soit intégrable sur un segment $[a,b]$, il faut et il suffit que l'on puisse trouver un ensemble de segments dont la longueur totale soit aussi petite qu'on le désire et qui contienne tous les points de discontinuité de $f(x)$.

On peut dire aussi que l'ensemble des points de discontinuité de $f(x)$ sur $[a,b]$ est de mesure nulle.

La fonction égale à 0 pour x irrationnel, à 1 pour x rationnel n'est donc pas intégrable, car elle est discontinue en tout point.

Corollaires

1. - Une fonction est intégrable dans tout intervalle où elle est continue.
2. - Si une fonction bornée est continue dans un intervalle, sauf à nombre fini de points, elle est intégrable.
3. - Une fonction monotone bornée est intégrable.
4. - Une fonction à variation bornée est intégrable.

Les corollaires 1 et 2 sont évidents. Le corollaire 3 résulte des théorèmes d'après lesquels les points de discontinuité d'une fonction monotone forment un ensemble dénombrable, donc de mesure nulle. Le corollaire 4 résulte des propriétés des fonctions à variation bornée.

VALEURS PROPRES D'UNE MATRICE CARRÉE

Théorème du polynôme caractéristique d'une matrice

Le polynôme caractéristique d'une matrice est indépendant de la base choisie.

Cela veut dire que, si A et B sont les matrices du même opérateur linéaire relativement à deux bases différentes, les polynômes caractéristiques $D(\lambda)$ et $D'(\lambda)$ de ces deux matrices sont identiques.

On a vu que, si Ω est la matrice de changement de coordonnées,

$$B = \Omega^{-1} A \Omega$$

Si I est la matrice unité, on a aussi donc, quel que soit le nombre complexe λ ,

$$B - \lambda I = \Omega^{-1} (A - \lambda I) \Omega$$

comme le montre une vérification immédiate.

Le déterminant $D'(\lambda)$ du premier membre est égal au produit des déterminants des trois matrices du second membre. Si ω est le déter

minant de la matrice Ω, celui de Ω^{-1} est $\frac{1}{\omega}$, et

$$D'(\lambda) = \omega\, D(\lambda)\, \frac{1}{\omega} = D(\lambda),$$

ce qu'il fallait démontrer.

En particulier, les matrices A et B ont les mêmes valeurs propres, avec le même ordre de multiplicité.

Si A est une matrice régulière, les valeurs propres de la matrice A^{-1} sont les inverses des valeurs propres de A et les vecteurs sont les mêmes. En effet, si

$$AX = \lambda X,$$

on a, en multipliant à gauche par A^{-1},

$$X = \lambda A^{-1}X$$

ou

$$A^{-1}X = \left(\frac{1}{\lambda}\right) X$$

Remarquons enfin que, <u>si, dans une certaine base, une matrice est diagonale, ses valeurs propres sont identiques aux éléments de la diagonale principale</u>.

J.BASS - COURS DE MATHÉMATIQUES, tome I,
Masson et C^ie Editeurs, Paris, 1968

EXERCICES ET PROBLÈMES DE MATHÉMATIQUES

-o- Soit K un corps commutatif, 1 son élément unité. En ajoutant p éléments unité, on obtient un élément qu'on peut noter

$$1 + 1 + \ldots + 1 \quad \text{ou} \quad p.1 \quad (p \text{ fois}).$$

On appelle caractéristique du corps K le plus petit entier p tel que $p.1 = 0$.

1° Montrer que p est un nombre premier.

2° Dans le corps des nombres réels et dans le corps des rationnels, on convient de dire que $p = 0$.

On considère maintenant le corps K des entiers modulo un nombre premier p. Ce corps contient tous les entiers, mais deux entiers sont considérés comme égaux si leur différence est un multiple de p.

1° Montrer que p est la caractéristique de K.

2° Montrer que, si l'on remplace p par un nombre n non premier, l'ensemble des entiers modulo n est un anneau, mais non un corps.

-o- 1° Étudier si la transformation linéaire qui, à une fonction f(x), fait correspondre la fonction xf(x), 1. est inversible; 2. a des valeurs propres, en se plaçant successivement dans les hypothèses suivantes:

a) f appartient à l'espace des polynômes;

b) f appartient à l'espace des polynômes de degré au plus égal à un nombre donné n.

2° Mêmes questions pour l'opération qui, à f(x), fait correspondre $\frac{df(x)}{dx}$.

-o- Soient A et B deux matrices carrées hermitiques inversibles. On cherche les vecteurs X non nuls et les nombres complexes tels que

$$BAX = X$$

1° Montrer que, si la matrice B est positive, c'est-à-dire si $(BX, X) > 0$ sauf pour $X = 0$, alors les valeurs propres sont réelles (on introduira la matrice inverse B^{-1}).

Si A est aussi une matrice positive, les valeurs propres sont positives.

2° Vérifier sur un exemple que, dans le cas général, les valeurs propres peuvent être complexes.

-o- Montrer, par des exemples géométriques élémentaires qu'on peut trouver deux matrices non nulles dont le produit soit nul. En est-il de même pour des produits de nombres (entiers, rationnels, réels, complexes) ?

Montrer qu'on peut construire deux fonctions définies sur l'intervalle (0, 1), continues, non identiquement nulles, et dont le produit soit nul.

-o- On considère un espace vectoriel à $2n$ dimensions construit sur le corps des complexes, et rapporté à une base $E_1, E_2, \ldots, E_{2n}$. Soit A l'opérateur linéaire défini par

$$AE_1 = E_{n+1}, \ldots, AE_n = E_{2n}; \quad AE_{n+1} = -E_1, \ldots, AE_{2n} = -E_n .$$

Trouver le carré de la matrice qui représente A. En déduire les vecteurs propres et les valeurs propres de A.

-o- Étudier, sur l'ensemble E des nombres rationnels, les propriétés des lois de composition suivantes :

$$aLb = a + 2b; \qquad aLb = \frac{a+b}{1-ab} .$$

Montrer que la seconde (où l'on admettra $\infty \in E$) est une loi de groupe abélien.

-o- Soit L une loi de composition interne supposée associative, sur un ensemble E. On donne $a \in E$. Soit L' la loi telle que $xL'y = xLaLy$.

Montrer qu'elle est associative;
qu'elle est commutative si L l'est;
que c'est une loi de groupe si L en est une;
quel est alors son élément neutre?

-o- Dans l'ensemble des parties d'un ensemble E, on note $A \cup B$ la réunion des parties A et B. Montrer que la loi $\cup$ est une loi de composition interne, associative, commutative, admettant un élément neutre (lequel ?). Que lui manque-t-il pour être une loi de groupe ?

-o- Mêmes questions pour la loi $\cap$ telle que $A \cap B$ désigne l'intersection de A et B. Montrer en outre que chacune des lois $\cup$ et $\cap$ est distributive par rapport à l'autre:

$$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C), \quad A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C).$$

Énoncer ces formules.

-o- Le repère xOy, ici et dans les questions suivantes est orthonormé. On donne la conique (C) d'équation $3x^2 - 2xy\sqrt{3} + 5y^2 - 4x = 0$.

Faire subir au repère une translation telle que la nouvelle équation ne contienne pas de terme de premier degré, puis une rotation telle qu'elle ne contienne pas de terme rectangle. Nature de (C). Déduire de cette étude que (C) a un centre de symétrie et un seul, deux axes de symétrie et deux seulement.

-o- Mêmes questions pour $3x^2 - 2xy\sqrt{3} + y^2 - 5y + 4 = 0$; constatant que la première réduction échoue, on commencera par la seconde.

-o- On donne la courbe (Γ) définie par la représentation $x = \frac{at}{1+t^4}$, $y = \frac{at^3}{1+t^4}$. Former son équation. Étudier son intersection avec le cercle (tangent en O à Oy) d'équation $x^2 + y^2 - 2\lambda x = 0$. Interpréter t. Équation de (Γ) en coordonnées polaires de pôle O.

-o- On donne la courbe (K) définie par la représentation $x = a + b\cos t + c\sin t$, $y = a' + b'\cos t + c'\sin t$. Interpréter cette représentation sous la forme

$$OM = OO_1 + U\cos t + V\sin t.$$

Nature de (K). Se peut-il que (K) soit un cercle?

PRINCIPAUX SYMBOLES UTILISÉS EN MATHÉMATIQUES *)

non P, $\neg P$	négation de la relation P.	$f * g$	produit de convolution de f et de g.
P et Q, $P \wedge Q$	conjonction des relations P et Q.	$\complement_E P$	complémentaire de P dans E.
P ou Q, $P \vee Q$	disjonction des relations P et Q.	$E - F$	différence des ensembles E et F.
$P \Longrightarrow Q$	P implique Q.	$b - a$	différence des éléments b et a.
$\forall$	quel que soit.	$E \Delta F$	différence symétrique des ensembles E et F.
$\exists$	il existe.	$(x_i)_{i \in I}$	famille d'éléments indexée par I.
$\emptyset$	ensemble vide.	$E \cap F$	intersection de E et de F.
$x \in E$	x appartient à E.	$\bigcap_{i \in I} P_i$	intersection de la famille $(P_i)_{i \in I}$.
$x \notin E$	x n'appartient pas à E.	$E \cup F$	réunion de E et de F.
$E \subset F$	E inclus dans F.	$\bigcup_{i \in I} P_i$	réunion de la famille $(P_i)_{i \in I}$.
$E \not\subset F$	E non inclus dans F.	$x \cdot y$ xy	produit de x et de y.
$E = F$	E égal F.	$\alpha \cdot x$ αx	image du couple (α, x) par une loi de composition externe.
$E \neq F$	E différent de F.	$\prod_{i=1}^{n} x_i$	produit de la suite $(x_i)_{1 \leq i \leq n}$.
$x \equiv y (\mathrm{mod.} a)$	x congru à y modulo a.	$\prod_{i \in I} x_i$	produit de la famille $(x_i)_{i \in I}$
$x \leq y$, $x < y$	x inférieur à y.	$\prod_{n=0}^{+\infty} x_n$	produit de la suite (x_n).
$x \geq y$	x supérieur à y.	$E \times F$	produit cartésien des ensembles E et F.
$x < y$	x strictement inférieur à y.	E^2	produit cartésien de l'ensemble E par lui-même.
$x > y$	x strictement supérieur à y.	$\prod_{i \in I} E_i$	produit cartésien de la famille $(E_i)_{i \in I}$
$f \lesssim g$, $f = O(g)$	f est dominée par g.	$\prod_{i=1}^{n} E_i$	produit cartésien de la suite $(E_i)_{1 \leq i \leq n}$.
E/R	ensemble quotient de E par R.		
$f : E \longrightarrow F$	application de E dans F.		
$x \longmapsto f(x)$	f(x) est l'image de x par f.		
$\top$ $\perp$	loi de composition interne.		
G' o G	composé des graphes G' et G.		
P o Q	polynôme composé des polynômes P et Q.		
f' o f	application composée des applications f' et f, correspondance composée des correspondances f' et f.		

*) d'après : CHAMBADAL, L. - DICTIONNAIRE DES MATHÉMATIQUES MODERNES, - 11-ème édition refondue, Librairie Larousse, Paris, 1973.

E^n	produit cartésien de n ensembles égaux à E.
$x + y$	somme de x et de y.
$\sum_{i=1}^{n} x_i$	somme de la suite $(x_i)_{1 \leq i \leq n}$.
$\sum_{i \in I} x_i$	somme de la famille $(x_i)_{i \in I}$.
$\sum_{n=0}^{+\infty} x_n$	somme de la série de terme général x_n.
$\sum_{i \in I} E_i$	somme d'une famille de sous-espaces vectoriels
$\coprod_{i \in I} E_i$	somme d'une famille d'ensembles, somme directe d'une famille d'espaces vectoriels.
$\bigoplus_{i \in I} E_i$	somme directe d'une famille d'espaces vectoriels, de sous-espaces vectoriels.
$\bigwedge_{i=1}^{p} x_i$	produit extérieur de la famille $(x_i)_{1 \leq i \leq p}$
$\alpha \wedge \beta$	produit extérieur des formes différentielles α et β.
$x_1 \wedge x_2 \wedge \ldots \wedge x_{n-1}$	produit vectoriel des vecteurs $x_1, x_2, \ldots, x_{n-1}$
$u \otimes v$	produit des tenseurs u et v.
$E_1 \otimes E_2$	produit tensoriel des espaces vectoriels E_1 et E_2.
$f_1 \otimes f_2$	produit tensoriel des applications linéaires f_1 et f_2.
$M \otimes M'$	produit tensoriel des matrices M et M'.
$\mu \otimes \nu$	produit tensoriel des mesures μ et ν.
$n!$	factorielle n.
A_n^p	cardinal de l'ensemble des arrangements de p éléments d'un ensemble à n éléments.
$C_n^p \binom{n}{p}$	coefficient binomial, cardinal de l'ensemble des combinaisons de p éléments d'un ensemble à n éléments
C^p	classe des fonctions p fois différentiables.
C^∞	classe des fonctions indéfiniment différentiables.
$\frac{df}{dx}$	dérivée de f.
df	différentielle de f
$df_{x_o} d_{x_o} f$	différentielle de f au point x_o.
$d\omega$	différentielle extérieure de ω.
$\mu(f) \int f\mu$	intégrale de f par rapport à μ.
$\{x\}$	ensemble à un élément
$\{x,y\}$	ensemble à deux éléments.
(x,y)	couple
(x,y,z)	triplet
(p,q)	signature d'une forme quadratique (ou hermitienne).
$[a,b]$	intervalle fermé d'origine a et d'extrémité b.
$]a,b[$	intervalle ouvert d'origine a et d'extrémité b.
$[a,b[$	intervalle semi-ouvert à droite
$]a,b]$	intervalle semi-ouvert à gauche.
$]-\infty,b]$ $]-\infty,b]$	section commençante fermée.
$]-\infty,b[$ $]-\infty,b[$	section commençante ouverte
$[a,+\infty[$ $[a,+\infty[$	section finissante fermée
$]a,+\infty[$ $]a,+\infty[$	section finissante ouverte
$]-\infty, +\infty[$	droite numérique

Scanned with OKEN Scanner

M E C A N I Q U E

S T A T I Q U E

GÉOMÉTRIE DES MASSES

Définitions et propriétés

L'objet de la Mécanique est l'étude des déplacements et des déformations que les corps éprouvent sous l'action de causes, appelées forces, de natures très diverses, s'exerçant à distance ou par contact.

L'énoncé des lois de cette science suppose l'existence d'un repère (appelé aussi système d'axes, référentiel) qu'on dit par définition être fixe et auquel on rapporte les déplacements des éléments étudiés. Dans un grand nombre de problèmes pratiques et moyennant certaines précautions qu'il n'est pas utile de développer ici, on peut constituer ce repère par des axes liés à la Terre.

Nous considérons les corps comme formés de points matériels ou particules, éléments de dimensions très petites, dont le comportement mécanique sous l'action de forces données est par définition complètement déterminé quand on connaît pour chacune les coordonnées d'un de ses points et une grandeur scalaire appelée masse de la particule, représentant la "quantité de matière" correspondante.

Un corps étant rapporté à un système d'axes rectangulaires $Oxyz$, soient m, r, x, y, z la masse, le rayon vecteur et les coordonnées cartésiennes d'une de ses particules. On appelle

- masse du corps la somme $M = \sum m$ des masses de ses particules constituantes.

- centre d'inertie (centre de gravité, centre de masses) du corps le point G dont le rayon vecteur est donné par la relation

$$OG = \frac{\sum mr}{\sum m},$$

c'est-à-dire le point de coordonnées cartésiennes

$$X = \frac{\sum mx}{\sum m}, \qquad Y = \frac{\sum my}{\sum m}, \qquad Z = \frac{\sum mz}{\sum m}$$

De cette définition il résulte que le centre d'inertie d'un système de particules ne change pas quand on remplace plusieurs particules par une particule située en leur centre d'inertie et ayant pour masse la somme de leurs masses.

On appelle

- moment statique (moment du premier ordre, moment de masse) du corps par rapport à un plan Π la grandeur scalaire $P = \Sigma mr$, r étant la distance de la masse m au plan Π. En particulier les moments statiques d'un corps par rapport à trois plans passant par le point Q de coordonnées a, b, c, et parallèles respectivement aux trois plans de coordonnées sont:

$$P_a = \Sigma m(x - a), \qquad P_b = \Sigma m(y - b), \qquad P_c = \Sigma m(z - c).$$

Ils s'annulent quand le point Q se confond avec le centre d'inertie du corps.

- moment statique polaire par rapport au point Q de coordonnées a, b, c, le vecteur P de projections P_a, P_b, P_c

- moment statique axial du corps par rapport à une droite prise comme axe des z' d'un repère $Qx'y'z'$, le vecteur P' ayant comme projections:

$$P_{x'} = \Sigma mx', \qquad P_{y'} = \Sigma my', \qquad P_{z'} = 0.$$

Centres d'inertie usuels

Triangle - Le centre de surface d'un triangle est situé au point de rencontre des médianes.

Trapèze - Le centre de surface d'un trapèze de bases b_1 et b_2 $(b_1 > b_2)$ et de hauteur h est situé sur la droite joignant les milieux des deux bases à la distance

$$d = \frac{h}{3} \frac{b_1 + 2b_2}{b_1 + b_2}$$

de la plus grande base.

Arc de cercle - Le centre de surface d'un arc de cercle d'angle au centre 2θ est situé sur le rayon médian à la distance

$$d = \frac{r \sin \theta}{\theta}$$

du centre.

Secteur circulaire - Le centre de surface d'un secteur circulaire d'angle au sommet 2θ est situé sur le rayon médian à distance $d = \frac{2}{3} \frac{r \sin \theta}{\theta}$ du centre.

Zone sphérique - Le centre de surface d'une zone sphérique est situé au milieu de la hauteur de la zone.

Pyramides - Le centre d'inertie d'une pyramide homogène de hauteur

h est situé sur la droite joignant le sommet au centre de surface de la base, à la distance $d = \frac{h}{4}$ de cette base.

Secteur sphérique - Le centre d'inertie du secteur sphérique homogène, engendré par la révolution d'un secteur circulaire AOB d'angle au centre θ autour du rayon OB, est situé sur ce rayon, à la distance

$$d = \frac{3}{4} R \cos^2 \frac{\theta}{2}.$$

PRINCIPES DE LA STATIQUE DU SOLIDE

Représentation des forces

Dans les solides réels, l'application des forces extérieures s'accompagne toujours de déformations, mais ces déformations sont très souvent assez faibles pour que, en idéalisant les apparences, il soit légitime de considérer des solides indéformables, dont toutes les particules resteraient à des distances invariables les unes des autres, quelles que soient les forces qui leur seraient appliquées.

D'autre part, l'expérience nous fait aisément reconnaître dans les éléments caractérisant une force, le point d'application, la ligne et le sens d'action, enfin l'intensité. Il semble donc naturel de représenter une force par un vecteur lié, ayant son origine au point d'application, supporté par la ligne d'action, dirigé dans le même sens que la force et ayant une longueur proportionnelle à l'intensité de celle-ci. Or toute la Mécanique repose sur l'énoncé suivant, où il faut voir essentiellement un principe, c'est-à-dire une affirmation dont la justification totale et unique se trouve dans l'accord intégral de ses conséquences logiques avec la réalité expérimentale;

Une force appliquée à un solide indéformable - lequel peut être une simple particule - peut se représenter par un vecteur glissant dont le support est la ligne d'action de la force, la direction, celle de la force et dont la longueur est proportionnelle à l'intensité de la force.

Des systèmes de vecteurs équivalents - c'est-à-dire ayant une résultante générale et même moment résultant par rapport à un point - représentent des systèmes de forces équivalents - c'est-à-dire

modifiant exactement de la même façon l'état d'équilibre ou de mouvement des corps indéformables sur lesquels s'exercent les systèmes de forces.

En vertu de ce principe, toutes les propriétés que la Géométrie attribue aux vecteurs glissants peuvent se transformer par de simples changements de mots en énoncés mécaniques expérimentalement vérifiables.

En particulier :

Les effets de deux forces concourantes sont les mêmes que ceux d'une force unique représentée par un vecteur égal à la résultante des vecteurs représentant les deux forces initiales (règle du parallélogramme).

L'effet d'une force appliquée à un solide indéformable ne change pas si on la déplace suivant sa ligne d'action.

Deux forces opposées agissant sur un solide indéformable se contrebalancent.

On ne change pas d'état d'équilibre ou de mouvement d'un solide indéformable si on ajoute aux forces extérieures appliquées ou si on en retranche un système de forces nul.

Un système de forces appliqué à un solide peut toujours être ramené à une force passant par un point donné du solide et à un couple; c'est ce qu'on appelle la réduction du système au point donné.

Un système de forces appliqué à un solide peut toujours être ramené à deux forces dont l'une a un support donné ou à deux forces passant par deux points donnés.

Principes de la Statique

Principe fondamental de la Statique

On sait que, d'après le principe fondamental de la Mécanique, l'existence d'une force est nécessaire pour modifier la vitesse d'un corps. Dans le cas particulier de la Statique, nous admettrons donc que

Pour qu'une particule reste au repos, il faut que toutes les forces auxquelles elle est soumise forment un système nul.

Principe de l'égalité de l'action et de la réaction

Si un corps A exerce certaines actions sur un corps B, réciproquement B exerce sur A des actions opposées. De façon précise nous dirons : le système des vecteurs représentatifs des forces exercées par B sur A s'obtient en conservant les supports et les grandeurs des

vecteurs représentatifs des forces exercées par A sur B et en changeant simplement leur sens.

Conditions d'équilibre d'un solide

Un système de corps étant donné, chaque particule est soumise à deux espèces d'actions : les unes proviennent des autres particules du système, c'est ce que nous appellerons les **forces intérieures** ; les autres proviennent des corps étrangers au système:elles constituent les **forces extérieures**. Or, si un système soumis à un ensemble d'actions est en équilibre, chacune de ses particules l'est également. Nous écrirons donc,pour la particule désignée par l'indice k, l'égalité exprimant que la résultante F_k des forces extérieures et la résultante I_k des forces intérieures annulent leurs effets sur la particule;

$$F_k + I_k = 0$$

Ajoutant les égalités relatives aux diverses particules du système et séparant les forces extérieures des forces intérieures, il vient

$$\Sigma F_k + \Sigma I_k = 0 \qquad (1)$$

Mais, en vertu de l'égalité de l'action et de la réaction, les forces intérieures s'équilibrent. L'équation se réduit donc à $\Sigma F_k = 0$.

Donc, pour qu'un système de corps soit en équilibre, il faut que le système des forces extérieures soit équivalent à zéro, c'est-à-dire que la résultante générale et le moment résultant de ce système doivent être nuls.

Analytiquement, si nous désignons par X,Y,Z, les composantes de la force extérieure F passant par le point M de coordonnées x,y,z les conditions nécessaires de l'équilibre du système s'écrivent en coordonnées rectangulaires, en prenant les moments par rapport à l'origine

$$\Sigma X = 0, \quad \Sigma Y = 0, \quad \Sigma Z = 0;$$

$$\Sigma L = \Sigma(yZ - zY) = 0, \quad \Sigma M = \Sigma(zX - xZ) = 0,$$

$$\Sigma N = \Sigma(xY - yX) = 0. \qquad (2)$$

Dans le cas des systèmes plans, ces six équations se réduisent à trois:

$$\Sigma X = 0, \quad \Sigma Y = 0, \quad \Sigma(xY - yX) = 0 \qquad (3)$$

Il faut bien remarquer qu'il s'agit là de conditions nécessaires,

- c'est-à-dire satisfaites lorsqu'il y a équilibre - mais non suffisantes, c'est-à dire qu'elles peuvent être satisfaites sans qu'il y ait équilibre. Le dernier cas se présente avec les corps déformables: quand on tire avec les deux mains sur un élastique, les deux actions ont beau être opposées, il n'y a pas équilibre au début.

Au contraire, lorsqu'on a affaire à un solide indéformable au repos, les équations suffisent à déterminer l'état d'équilibre. Elles expriment, en effet, que sous l'action de toutes les forces extérieures le centre d'inertie du corps reste immobile et que le corps ne tourne pas autour de ce centre. Si donc certaines de ces forces sont inconnues, les relations (3) pourront permettre de les déterminer sous une condition évidente : la forme du solide n'intervenant pas en effet dans ces équations, il faut impérativement que cette forme n'ait absolument aucun rôle à jouer dans l'établissement de l'équilibre.

Exemple:

Une table à quatre pieds, sur le plateau de laquelle sont disposés differents poids, est supposée en équilibre sur un sol indéformable. Si la table est elle-même indéformable, elle touche le sol par trois pieds seulement (trois pieds déterminent le plan lié à la table qui vient s'appliquer sur le sol plan; les pieds n'étant jamais de longueur rigoureusement égale, le quatrième pied est forcément au-dessus du plan défini par les trois autres) et nous pouvons calculer par les seules équations de la statique les réactions du sol, c'est-à-dire les forces que le sol exerce sur les pieds. Mais si la table n'est pas rigoureusement indéformable, le quatrième pied peut appuyer plus ou moins sur le sol, ce qui change la répartition des réactions sur les autres pieds: pour déterminer l'état d'équilibre, il nous faudra donc un plus grand nombre d'équations, donc des hypothèses complémentaires sur la façon dont la table a été déformée.

Liaisons et réactions

En général un corps n'est pas totalement libre : il est soumis à des liaisons qui limitent ses déplacements possibles par rapport aux corps voisins et on dit que deux solides sont g é o m é t r i q u e m e n t l i é s quand le nombre N des libertés de leur déplacement relatif est inférieur à 6.

Si les deux solides sont liés de manière qu'une surface de l'un reste en contact avec une surface non superposable de l'autre, ils sont dits a p p u y é s ($N \leq 5$); l'appui est dit c y l i n d r i q u e si de plus un plan de l'un glisse sur un plan de l'autre; les corps sont liés par r o t u l e ou par p i v o t, suivant qu'ils sont liés

par un point fixe (N = 3) ou par deux points fixes (N = 1) ; enfin si un seul appui rend leurs déplacements relatifs impossibles, les corps sont liés par e n c a s t r e m e n t.

.Soit une liaison par laquelle une particule d'un corps est assujettie à décrire une surface matérielle fixe, appelée guide. La liaison est dite bilatérale si elle est effective quand la particule appuie normalement au guide dans les deux sens ; elle est unilatérale si elle n'est effective que pour une seule des directions de la normale au guide.

Un corps astreint à certaines liaisons et auquel on applique un système de forces donné ne prend pas en général le même mouvement que s'il n'était pas gêné. En particulier, il peut rester au repos alors que les forces appliquées ne forment pas un système nul. On explique ce fait en admettant que la présence des liaisons entraîne la production de r é a c t i o n s, c'est-à-dire de forces variables avec le mouvement du corps et avec les forces appliquées et qui, en agissant en même temps que ces dernières, assurent au corps, supposé complètement libre, son état actuel de mouvement ou de repos.

Différant des actions comme celles que peut développer un gaz comprimé ou un ressort bandé, les réactions dépendent exclusivement des forces données, c'est-à-dire des forces directement appliquées et des forces d'inertie; apparaissant avec ces forces, elles dosparaissent avec elles, parce qu'elles on été introduites précisément pour contrebalancer des forces existantes; elles gênent les déplacements, mais elles ne peuvent mettre en mouvement. De plus, remplaçant les liaisons, elles doivent être supposées appliquées aux points où s'exercent ces liaisons.

Considérons enfin une liaison dans laquelle deux solides A et B, mobiles l'un par rapport à l'autre, restent en contact suivant un élément ponctuel (appartenant éventuellement à une zone de contact linéaire ou étendue). La réaction du second corps, qui empêche A de pénétrer dans B, passe par l'élément de contact et possède nécessairement une composante normale à celui-ci et dirigée de B vers A. De plus, dans la quasi-totalité des cas, la réaction possède également une composante située dans le plan de contact, toujours opposée à un mouvement réel ou possible, dite force de frottement et dont l'influence s'introduit dans des équations. L'interposition de lubrifiants ou d'appui roulants entre deux corps susceptibles de se déplacer l'un par rapport à l'autre permet fréquemment de réduire le frottement à des valeurs représentant des centièmes ou même des millièmes des forces appliquées. On peut alors en négliger les effets dans une première étude et parler de liaisons sans frottement.

A. FOCH - MÉCANIQUE PHYSIQUE ET EXPÉRIMENTALE, t.I (Statique et Résistance des matériaux), Paris, 1961

C I N É M A T I Q U E

OBJET DE LA CINÉMATIQUE

L'objet de la cinématique est l'étude du mouvement d'un corps, indépendamment de celle de toute cause capable de le provoquer ou de le modifier. Elle se distingue de la dynamique, partie de la mécanique qui établit les relations entre les causes du mouvement et leurs effets.

La notion de mouvement est une notion intuitive, mais inséparable de celle de repère : il est impossible de définir un mouvement sans préciser le repère auquel il est rapporté. Nous admettons que la description d'un mouvement consiste à indiquer la position du mobile (le lieu où il se trouve et éventuellement son orientation) en fonction de la date.

Nous nous proposons dans ce chapitre de mathématiser ces notions réelles, ce qui permettra de les préciser au passage et de construire des outils, tels que repère, vecteur vitesse, vecteur accélération, indispensables pour la suite.

Cette étude mathématique de la cinématique doit être considérée comme préparant celle de la dynamique.

LE TEMPS

1° L'instant τ

Nous admettons l'existence d'une horloge de référence dont dispose l'observateur. À chaque état de l'horloge (position de l'aiguille par exemple) associons un point τ d'un espace affine réel, orienté, à une dimension. Soit $(\mathcal{T})$ cet espace, appelé <u>espace des instants</u>.

2° L'espace vectoriel des durées

Soit d'autre part l'espace vectoriel $(\mathcal{D})$, ensemble des vecteurs libres de $(\mathcal{T})$. Il est construit sur le corps des réels. Ainsi, à tout couple $\tau_1\tau_2$ de $(\mathcal{T})$ nous associons un élément $\vec{D}$ de $(\mathcal{T})$ par l'application

$$\vec{D} = \overrightarrow{\tau_1\tau_2}$$

$\vec{D}$ est une <u>durée</u> et $(\mathcal{D})$ l'<u>espace vectoriel des durées.</u>

3° Le repère de temps

Soit un point O de l'espace affine $(\mathcal{T})$ et une base $\vec{e}$ de l'espace vectoriel $(\mathcal{D})$: $(O, \vec{e})$ constitue le repère de temps.

Ainsi, à tout point τ de $(\mathcal{T})$ est associé le réel t tel que

$$\overrightarrow{O\tau} = t\vec{e},$$

t est la date de l'instant τ. Remarquons que, pour employer une terminologie correcte, il faudrait dire: "instant τ de date t", mais par abus de langage, on se borne à employer l'expression "instant t".

À deux points τ_1 et τ_2 de $(\mathcal{T})$ (deux instants), on associe le scalaire d tel que

$$\vec{D} = \overrightarrow{\tau_1\tau_2} = d\vec{e}.$$

Si t_1 et t_2 sont les dates des instants τ_1 et τ_2, la mesure d de la durée $\vec{D}$ est

$$d = t_2 - t_1.$$

4° Changement de base des durées (ou base de temps)

Soit $\vec{e}$ une base de $(\mathcal{D})$ et $\vec{e}'$ une nouvelle base de ce même espace, telles que

$$\boxed{\vec{e} = T\vec{e}'.}$$

Une durée $\vec{D}$ a pour mesures d et d' avec ces deux bases:

$$\vec{D} = d\vec{e} = d'\vec{e}',$$

soit

$$\vec{D} = dT\vec{e}' = d'\vec{e}',$$

d'où

$$\boxed{d' = Td.}$$

T est appelé coefficient de dimension du temps. Si l'on remplace l'unité de temps $\vec{e}$ par une nouvelle unité $\vec{e}'$ T fois plus petite, la mesure d'une durée devient T fois plus grande.

L'ESPACE

1° La position

L'observateur dispose d'un instrument d'observation. Une particule

ponctuelle est vue en un point M de l'espace affine réel $(\mathcal{E})$ à trois dimensions; c'est l'espace affine de la géométrie concrète. La position de M est donc un point de $(\mathcal{E})$.

2° L'espace vectoriel des vecteurs déplacement

L'application $\vec{r} = \overrightarrow{M_1M_2}$ associe à tout couple M_1, M_2 d'éléments de $(\mathcal{E})$ un élément $\vec{r}$ de l'espace vectoriel (E), à trois dimensions, construit sur le corps des réels. Nous appelons $\vec{r}$ un vecteur déplacement et (E) est l'espace vectoriel des vecteurs déplacement.

3° Le repère d'espace

Soit un point O de l'espace affine $(\mathcal{E})$ et une base $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ de l'espace vectoriel (E):

$(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ est le repère d'espace.

Au point M de $(\mathcal{E})$, on associe le triplet (x,y,z) tel que

$$\overrightarrow{OM} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}, \qquad x,y,z \text{ étant réels;}$$

x,y,z sont les coordonnées cartésiennes de M.

Nous supposons dans la suite que le repère $(\mathcal{R})$ est orthonormé et direct. Si $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ sont unitaires, x, y, z sont des mesures de longueur.

4° Changement de base

Soit $\vec{i}', \vec{j}', \vec{k}'$ une nouvelle base de (E) telle que

$$\vec{i} = L\vec{i}', \qquad \vec{j} = L\vec{j}', \qquad \vec{k} = L\vec{k}'.$$

Le vecteur $\overrightarrow{OM}$ s'écrit

$$\overrightarrow{OM} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$$

dans l'ancienne base et

$$\overrightarrow{OM} = xLi' + yLj' + zLk'$$

dans la nouvelle. Les nouvelles coordonnées sont donc

$$\boxed{x' = Lx, \quad y' = Ly, \quad z' = Lz,}$$

où L est le coefficient de dimension des longueurs.

Exemple. - Si la nouvelle base est le kilomètre (km) et l'ancienne le mètre (m), sachant que $1\ m = 10^{-3}km$, la nouvelle mesure est $x' = 10^{-3}x$; on dit communément x' "en km" et x "en m".

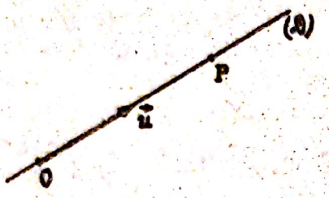
EXEMPLES DE MOUVEMENTS

1° Le mouvement rectiligne

Le mouvement est rectiligne si, à tout instant t, la particule est en un point P d'une droite (Δ)

$(O,\vec{u})$ constituant un repère pour cette droite, on peut écrire

$$\vec{r} = \overrightarrow{OP} = x\vec{u}.$$



Le vecteur vitesse est

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\vec{u}.$$

Le mouvement rectiligne <u>à vitesse constante v_0</u> (couramment appelé <u>mouvement rectiligne uniforme</u>) a pour équation

$$x = v_0 t + x_0,$$

le vecteur accélération est nul.

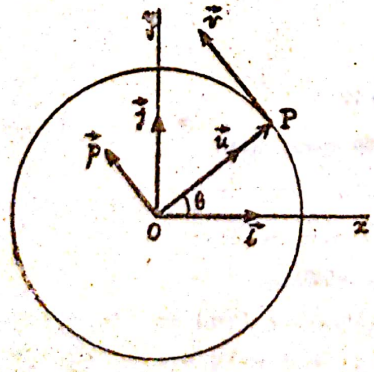
Le <u>mouvement rectiligne à accélération constante γ_0</u> (souvent appelé uniformément varié) a pour équations

$$\gamma = \gamma_0,$$
$$v = v_0 + \gamma_0 t,$$
$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}\gamma_0 t^2.$$

Il est accéléré si $|v|$ croît
et décéléré si $|v|$ décroît.

2° Le mouvement circulaire

Une particule est animée d'un mouvement circulaire si, à tout instant, elle est située en un point P appartenant à un cercle (C) de rayon R et de centre O.



Choisissons un repère orthonormé d'origine O et de vecteurs unitaires $\vec{i}$ et $\vec{j}$, parallèles au plan de la trajectoire circulaire. Soit $\vec{u}$ le vecteur unitaire de $\overrightarrow{OP}$:

$$\overrightarrow{OP} = \vec{r} = R\vec{u}.$$

Soit $\theta = (\vec{i},\vec{u})$; supposons $\theta(t)$ deux fois dérivable. $\vec{r} = R\vec{u}$ donne

par dérivation

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = R\frac{d\vec{u}}{dt} = R\frac{d\vec{u}}{d\theta}\frac{d\theta}{dt}$$

$\frac{d\vec{u}}{d\theta}$ est le vecteur unitaire $\vec{p}$, directement perpendiculaire à $\vec{u}$ dans le plan, donc

$$\boxed{\vec{v} = R\frac{d\theta}{dt}\vec{p}}$$

Il est convenu de dessiner le représentant du vecteur $\vec{v}$ en prenant le point P pour origine, de même que pour le vecteur accélération.

Sachant que $\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d\vec{p}}{d\theta}\frac{d\theta}{dt} = -\frac{d\theta}{dt}\vec{u}$, on calcule

$$\vec{\gamma} = \frac{d\vec{v}}{dt} = R\left[-\left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2\vec{u} + \frac{d^2\theta}{dt^2}\vec{p}\right] = \boxed{-R\left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2\vec{u} + R\frac{d^2\theta}{dt^2}\vec{p}}$$

$\frac{d\theta}{dt}$ est la vitesse angulaire,

$\frac{d^2\theta}{dt^2}$ l'accélération angulaire

$R\frac{d^2\theta}{dt^2}$ l'accélération tangentielle γ_t

$-R\left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2$ l'accélération normale (ou centripète) γ_n

Un <u>mouvement circulaire est uniforme si</u>

$$\theta = \theta_0 + \omega t ;$$

la vitesse angulaire ω est constante, les accélérations angulaire et tangentielle sont nulles, l'accélération normale est $-R\omega^2$.

La durée d'une révolution du mobile est la période T du mouvement; la fréquence N est le nombre de tours par seconde :

$$T = \frac{2\pi}{\omega}, \qquad N = \frac{1}{T}.$$

M. ANSERMET et J. BOUTIGNY - Cours de Physique. Mécanique. Paris, Vuibert, 1972

RELATION FONDAMENTALE DE LA DYNAMIQUE

LA MASSE ET LE VECTEUR QUANTITÉ DE MOUVEMENT

Soit une particule P; nous lui associons un vecteur d'un espace vectoriel $\mathcal{M}$ à une dimension, construit sur $\mathbb{R}$; soit m ce vecteur, appelé masse de la particule.

Si dans $\mathcal{M}$ nous choisissons une base μ, nous écrivons

$$m = \bar{m}\,\mu,$$

$\bar{m}$ est la mesure dans la base μ de la masse de la particule; c'est un nombre réel.

La base μ utilisée est l'unité de masse qui est le kilogramme (kg) dans le système SI d'unités. Comme nous supposerons toujours dans la suite qu'une base a été choisie, nous confondrons dans l'écriture m et $\bar{m}$; m devient alors un scalaire.

Nous considérons comme un postulat l'invariance de la masse de la particule au cours du temps (conservation de la masse) et l'invariance de la masse par changement de référentiel.

La particule P dans l'espace $(\mathcal{E})$ est repérée par le vecteur $\overrightarrow{OP}$ quand on a choisi un repère $\mathcal{R}$. La vitesse est

$$\vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OP}}{dt}$$

$\overrightarrow{OP}$ et $\vec{v}$ sont des vecteurs de (E), espace vectoriel associé à $(\mathcal{E})$.

m étant un scalaire, le vecteur $\vec{p} = m\vec{v}$ est un vecteur de (E): $\vec{p}$ est par définition le vecteur quantité de mouvement de la particule dans le référentiel $\mathcal{R}$.

Le coefficient de dimension du vecteur vitesse étant T^{-1}, celui des vecteurs quantité de mouvement est MT^{-1}.

Le coefficient de dimension des composantes du vecteur quantité de mouvement est MLT^{-1}.

RÉFÉRENTIELS GALILÉENS

Nous admettons qu'il est possible de trouver des particules libres (ou isolées), c'est-à-dire des particules n'exerçant ou ne subissant aucune action. Pour qu'il en soit ainsi, il est nécessaire d'imaginer une particule absolument seule dans l'espace, ce qui est réalisé de manière approchée si la particule considérée est très éloignée de tout système matériel.

Nous construisons donc un modèle constitué par une particule unique, de masse m, dans l'espace affine réel $(\mathcal{E})$.

La mécanique classique ou mécanique de Galilée postule l'existence de référentiels $\mathcal{R}$ [repères d'espace $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ munis d'un temps t d'ailleurs unique] dans lesquels <u>la dérivée du vecteur quantité de mouvement $\frac{d\vec{p}}{dt}$ est nulle pour une particule libre, quels que soient</u>

<u>sa position P,</u>
<u>sa vitesse $\vec{v}$,</u>
<u>le temps t.</u>

<u>De tels référentiels sont dits galiléens</u>. On dit alors que l'espace réel $(\mathcal{E})$, rapporté à un repère galiléen, est

<u>homogène</u>, car $\frac{d\vec{p}}{dt} = C$, quel que soit P,

<u>isotrope</u>, car $\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{0}$, quelle que soit la vitesse

et que le temps est <u>uniforme</u>, car $\frac{d\vec{p}}{dt} = 0$ quel que soit le temps.

PROPRIÉTÉS DES RÉFÉRENTIELS GALILÉENS

Ayant postulé que dans un référentiel galiléen $\frac{d\vec{p}}{dt}$ est nul pour une particule libre, il en découle que <u>le vecteur $\vec{p} = m\vec{v}$ est constant</u>. La masse de la particule étant elle-même indépendante du temps, <u>le vecteur vitesse $\vec{v}$ est donc un vecteur constant</u>.

<u>La mouvement d'une particule libre dans un référentiel galiléen est un mouvement rectiligne et uniforme</u>.

Cet énoncé extrêmement important peut servir de principe de base pour conduire à la relation $\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{0}$: on l'appelle <u>le principe de l'inertie</u>.

La loi de composition des vitesses pour deux référentiels $\mathcal{R}$ et $\mathcal{R}_1$ s'exprime par la relation

$$\vec{v}_{\mathcal{R}}(P) = \vec{v}_{\mathcal{R}_1}(P) + \vec{v}_e(P).$$

Si $\mathcal{R}$ et $\mathcal{R}_1$ sont deux référentiels galiléens, les vitesses $\vec{v}_{\mathcal{R}}$ et $\vec{v}_{\mathcal{R}_1}$ de la particule sont indépendantes du temps, c'est-à-dire également de la position de P. Quelle que soit la trajectoire (rectiligne), la vitesse d'entraînement de $\mathcal{R}_1$ par rapport à $\mathcal{R}$

$$\vec{v}_e(P) = \vec{v}_{\mathcal{R}} - \vec{v}_{\mathcal{R}_1}$$

est ainsi indépendante de P et du temps : le mouvement de $\mathcal{R}_1$ par rapport à $\mathcal{R}$ est un mouvement de translation rectiligne et uniforme.

L'ensemble des référentiels galiléens est tel que l'un quelconque de ces repères est en translation rectiligne et uniforme par rapport à l'un quelconque d'entre eux.

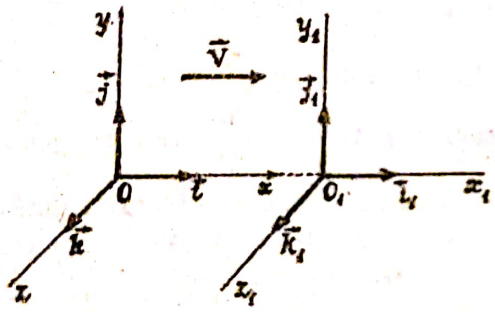
LE GROUPE DE GALILÉE

Soit une particule en un point P de $(\mathcal{E})$ et deux référentiels galiléens $\mathcal{R}$ et $\mathcal{R}_1$. Soit $\vec{V}$ la vitesse du mouvement de translation rectiligne et uniforme de $\mathcal{R}_1$ par rapport à $\mathcal{R}$.

$\mathcal{R}$ et $\mathcal{R}_1$ sont munis de temps identiques: $t = t_1$.

Supposons en outre que les origines O et O_1 des repères d'espace coïncident à l'instant $t = 0$, que les bases $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ et $\vec{i}_1, \vec{j}_1, \vec{k}_1$ soient identiques et enfin que $\vec{V}$ soit parallèle à $\vec{i}$.

Soit x,y,z et x_1,y_1,z_1 les coordonnées de P respectivement dans $\mathcal{R}$ et dans $\mathcal{R}_1$. On a entre elles les relations



$$\begin{cases} x_1 = x - Vt, \\ y_1 = y, \\ z_1 = z \\ t_1 = t \end{cases}$$

La transformation qui à x,y,z,t associe x_1,y_1,z_1,t_1, par les relations ci-dessus, est appelée transformation de Galilée. L'ensemble des transformations de Galilée a d'ailleurs une structure de groupe.

PARTICULE LIÉE DANS UN RÉFÉRENTIEL GALILÉEN. RELATION FONDAMENTALE DE LA DYNAMIQUE.

La particule P, dans $(\mathcal{E})$, rapportée à un référentiel galiléen $\mathcal{R}$, n'est plus supposée isolée; elle subit des interactions d'autres particules : on dit alors que la particule est liée.

Nous avons postulé que la dérivée du vecteur quantité de mouvement d'une particule libre est nulle. Nous postulons de même que cette dérivée est différente de zéro pour une particule liée.

On appelle vecteur force s'exerçant sur la particule le vecteur $\vec{F}$

de (Σ) défini par

$$\boxed{\vec{f} = \frac{d\vec{p}}{dt}}$$

représentant la relation fondamentale de la dynamique. Le cas particulier $\vec{f} = 0$ (particule libre) est la traduction du principe de l'inertie.

Le coefficient de dimension du vecteur force est MT^{-2}, celui de ses composantes est MLT^{-2}. Les unités étant le mètre par seconde par seconde pour l'accélération, le kilogramme pour la masse, celle de force (unité dérivée) est le newton.

Le vecteur force traduit mathématiquement les actions des particules extérieures sur celle qui est étudiée; ces actions peuvent dépendre

- de la position P de la particule
- de sa vitesse $\vec{v}$,
- de la date t (si les particules extérieures sont mobiles par rapport au référentiel $\mathcal{R}$).

D'une manière générale, le vecteur force est une fonction vectorielle explicite de $P, \vec{v}, t$ que nous écrivons

$$f(P, \vec{v}, t)$$

En résumé, les grandeurs ou relations fondamentales de la dynamique des particules sont

$$\boxed{\begin{array}{l} \text{le vecteur vitesse: } \vec{v}(t) = \dfrac{d\overrightarrow{OP}}{dt}, \\ \text{le vecteur quantité de mouvement: } \vec{p}(t) = m\vec{v}(t), \\ \text{le vecteur force: } \vec{f}(P, \vec{v}, t) = \dfrac{d\vec{p}}{dt}. \end{array}}$$

R. ANNEQUIN et J. BOUTIGNY - Cours de sciences physiques. Mécanique, Paris, Librairie Vuibert, 1972

EXERCICES

SUR LA MÉCANIQUE

-o- Forces concourantes

Montrer que si un solide est soumis à trois forces concourantes coplanaires faisant entre elles des angles de $12o^{\circ}$, le solide ne peut être en équilibre que si ces trois forces sont égales.

Un solide est soumis à l'action de deux forces concourantes rectangulaires égales à 18 N et 24 N ; quelle troisième force, concourante avec les deux autres, faut-il lui appliquer pour que ce solide soit en équilibre ?

Deux hommes tirent en sens contraire sur des cordes fixées aux extrémités d'un ressort dynamométrique. Le dynamomètre reste au repos. Quelle est son indication si la force exercée par chacun des hommes est 3o N ?

On donne 6 forces concourantes égales, faisant entre elles des angles de $6o^{\circ}$. Trouver leur résultante.

Un cheval tire un wagon avec une force F de 7oo N qui fait un angle de $3o^{\circ}$ avec la direction des rails.

a) Faire un schéma représentant les rails, la wagon, la ligne d'action de F.

b) En déduire la composante utile, parallèle aux rails.

c) Calculer la force avec laquelle le wagon repousse latéralement les rails.

-o- Forces parallèles

Trouver la résultante de deux forces parallèles et de même sens, égales à 2 N et 5 N appliquées aux extrémités d'une barre rigide de 4o cm de longueur.

Pour porter un sac de 4o N on le suspend à une barre AB de deux mètres de long placée sur les épaules de deux hommes. Où faut-il placer ce fardeau pour que l'un des porteurs supporte un poids triple de l'autre ?

Une planche de 4 m de longueur est mobile autour d'un axe

horizontal passant par son centre de gravité; elle réalise ainsi une balançoire. Une personne de 6o kg s'assied à 1 mètre de l'axe ; un enfant de 2o kg s'assied à la même distance de l'axe de l'autre côté ; un autre enfant se place à l'extrémité de la planche. Quel doit être son poids pour que la balançoire se soulève ?

-o- Couple

Un couple C_1 est formé de deux forces parallèles et opposées valant chacune $F_1 = 2$ N, leur distance étant $d_1 = 0,5$ m. Un second couple C_2 est caractérisé de même par $F_2 = 6$ N et $d_2 = 0,2$ m. Comparer les moments de ces deux couples.

L'arbre d'un moteur électrique porte un bras de longueur 1,2 m, qui lui est perpendiculaire, et que l'on maintient horizontal en suspendant à son extrémité un poids de 8 N. Quel est le couple exercé par le moteur sur le bras ?

Un fil métallique se tord de 9o° quand on exerce à une de ses extrémités, l'autre étant fixe, un couple valant 0,2 N x m. Quelle est la constante de torsion du fil ?

-o- Pression

La tour Eiffel a pour masse 8ooo tonnes. Elle repose sur 4 piliers; la surface de contact avec le sol est de 45o m^2 pour chacun d'eux. Quelle est en pascals la pression supportée par le sol ?

La pression exercée par le vent au cours d'un ouragan peut atteindre 24o ooo pascals. Quelle est la force subie par un mur de 2 m de haut et de 6 m de long placé normalement à la direction du vent?

Quelle doit être la surface minimale de contact avec le sol des chenilles d'un tank de 6o tonnes, si le sol ne peut supporter qu'une pression de 5o ooo pascals ?

-o- Travail. Puissance.

Un manoeuvre monte un sac de 6o kg à 2o m. de hauteur en 3 minutes. Calculer en joules le travail qu'il effectue. Quelle est la puissance qu'il développe? (l'exprimer en watts puis en chevaux-vapeur)

Une chute d'eau débite 2oo m^3 d'eau par minute; la hauteur

de le chute est de 3o m. Calculer la puissance de cette chute en kilowatts.

Un moteur a une puissance de 7,36 kW ; on l'utilise pour soulever une charge de 5oo kg à une hauteur de 8 m. Quel temps le moteur met-il à effectuer ce travail ?

Une locomotive exerce sur le crochet d'attelage une force de traction de 8 tonnes-poids; la vitesse du convoi est de 8o km/heure. Calculer en chevaux-vapeur et en kilowatts la puissance de la locomotive.

Un avion est équipé de 4 moteurs de 3.5oo ch chacun. Sa vitesse de croisière est de 45o km/h et ses moteurs ne donnent alors que les 2/3 de leur puissance. Quel est l'effort de traction moyen exercé par ces moteurs ?

Pour remonter un moteur à ressort, on exerce sur la clef un couple égal à 0,6 m x N et ceci pendant 37,5 tours de clef. Le moteur peut alors fonctionner pendant 6 minutes 3o secondes. Quelle est la puissance du moteur?

H. BAÏSSAS , M. EURIN, H. GUIMIOT - Cours de sciences physiq"
Classiques Hachette, Paris, 1972

ÉLECTRICITÉ

ÉLECTROSTATIQUE

LES DEUX ESPÈCES D'ÉLECTRICITÉ

Électrisation par frottement

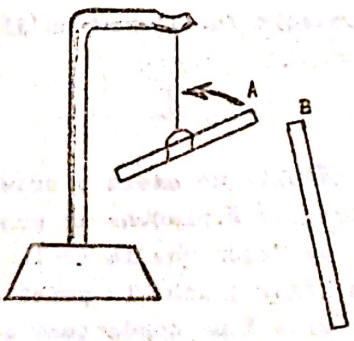
Prenons un bâton d'ébonite et frottons-le avec un chiffon de laine, une peau de chat ou mieux encore avec un tissu de Nylon : le bâton attire une petite balle en moelle de sureau suspendue par un fil de soie à une potence en verre ; ce dispositif est un "pendule électrique".

On peut faire la même expérience avec un bâton de verre, un bâton de "plexiglass", un morceau de soufre tenus à la main.

Ces actions à distance sont dues à des forces, que nous attribuons à un état particulier créé par le frottement de la laine ou de la peau de chat. Nous dirons que ces corps ont été électrisés par frottement.

Électricités positive et négative

Frottons sur un chiffon de laine l'extrémité A d'une petite tige de "plexiglass" et suspendons cette baguette à une potence en verre grâce à un étrier et un fil de soie. Approchons de A l'extrémité B d'une baguette analogue frottée de la même façon : nous observons que l'extrémité A est repoussée par B.



Conservons la même tige de "plexiglass" suspendue à la potence et dont l'extrémité A a été électrisée. Approchons de A des substances très diverses : verre, ébonite, soufre, résine,... préalablement frottées avec de la laine ou une peau de chat. Nous constatons que l'extrémité A est soit repoussée, soit attirée. Ceci ne peut s'interpréter qu'en supposant qu'il existe deux espèces d'électricité.

On a donné arbitrairement le nom d'électricité positive (+) à celle qui apparaît sur le verre frotté avec du drap et celui d'électricité négative (-) à celle qui apparaît sur l'ébonite frottée avec une peau de chat.

Actions mutuelles de deux corps électrisés

L'expérience précédente faite avec les deux bâtons de "plexiglass"

électrisés de la même façon nous ayant montré que les deux extrémités A et B se repoussaient, nous pouvons énoncer la proposition suivante, qui est générale :

Deux corps électrisés de la même façon se repoussent.

Mais il nous est facile de constater que le bâton de verre électrisé attire le bâton d'ébonite électrisé, d'où la loi :

Deux corps électrisés de façon différente s'attirent.

Électrisation par contact

Prenons un bâton d'ébonite électrisé par frottement et touchons avec son extrémité A un pendule électrique ; celui-ci est immédiatement repoussé. Il a pris une partie de la charge négative de A ; il a été électrisé par contact.

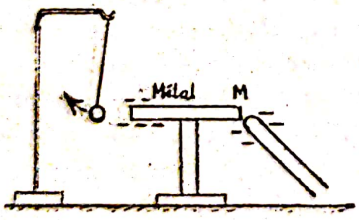
Un corps métallique mis en contact avec le pôle + ou le pôle - d'une machine électrostatique, s'électrise également par contact en prenant une charge + ou une charge - .

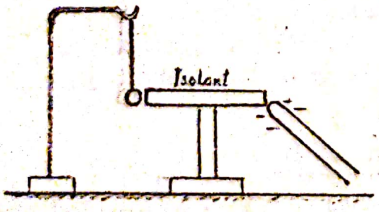
Expérience

Dans un petit entonnoir, plaçons de la poudre d'aluminium bien sèche: elle s'écoule selon la verticale. Mettons dans l'entonnoir l'électrode soit positive, soit négative d'une machine électrostatique. Tous les grains d'aluminium s'électrisent par contact entre eux et avec l'électrode de la machine, donc de la même façon : on voit facilement qu'ils se repoussent toujours en s'écoulant de l'entonnoir.

Conducteurs et isolants

Réalisons l'expérience suivante : une tige métallique assez courte MN est placée sur un support de verre. À l'extrémité N, plaçons un pendule électrique de façon que la boule de ce pendule très léger touche le point N. Touchons l'extrémité M du conducteur avec un bâton d'ébonite électrisé : nous voyons immédiatement le pendule s'écarter de N. Tout le métal a été électrisé et non pas seulement la partie voisine de M.





Recommençons l'expérience en remplaçant la tige métallique par une règle de "plexiglass" : le pendule ne quitte pas N, bien que la région de la règle voisine de M manifeste des signes d'électrisation.

Ainsi l'électricité apparaissant en un point d'un métal se répand sur toute sa surface, tandis que celle développée en un point du "plexiglass" reste en ce point.

Nous dirons que les métaux sont des conducteurs ; au contraire, le "plexiglass", le verre, l'ébonite sont des isolants.

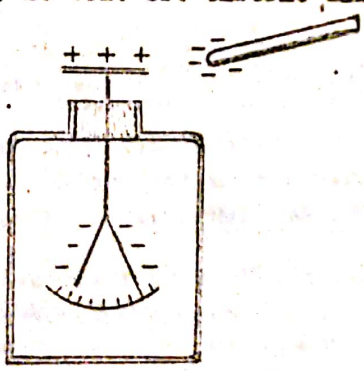
Après avoir réalisé nos expériences avec un métal électrisé, touchons-le avec le doigt : nous ne pouvons plus montrer son électrisation, car il s'est déchargé. Nous interpréterons ce fait en disant que le corps humain est conducteur, ainsi le sol : l'électricité cédée par contact se répand sur tout l'ensemble et devient indécelable.

Ces faits expliquent que nous ne pouvons pas, même en la frottant énergiquement, électriser une tige métallique tenue à la main, alors que, si nous la tenons par l'intermédiaire d'une tige isolante, nous pouvons l'électriser par frottement.

Pour décharger un conducteur électrisé, il suffira de le toucher avec le doigt.

Électrisation par influence

Nous utiliserons un électroscope : cet appareil est constitué par une tige métallique fixe reliée à un plateau et par une tige mobile autour d'un axe qui passe par un point très voisin de son centre de gravité; le tout est enfermé dans une cage de verre, le plateau étant à l'extérieur de cette cage.



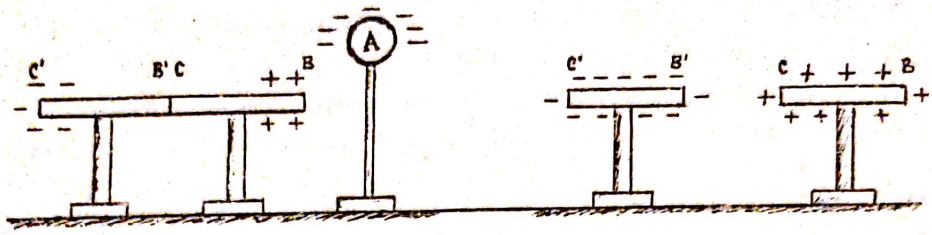
Si nous approchons du plateau un bâton d'ébonite électrisée, nous constatons que la tige mobile s'écarte de la tige fixe, faisant avec elle un angle qui augmente lorsque nous rapprochons le bâton d'ébonite. L'électroscope a été électrisé puisque les deux tiges se repoussent.

On a donné le nom d'électrisation par influence à ces modes d'électrisation à distance. Si nous éloignons le bâton d'ébonite, l'électroscope ne manifeste plus aucun signe d'électrisation. Il est redevenu électriquement neutre.

Expérience

Précisons davantage les phénomènes par une deuxième expérience. Prenons, sur deux supports isolants distincts, deux tiges métalliques que nous amenons en contact : tige BC, tige B'C', B' étant en contact avec C. Approchons de l'ensemble, formant ainsi un seul conducteur, une

sphère électrisée A (sphère de laiton sur support isolant, frottée avec une peau de chat, donc électrisée négativement) ; A étant maintenue en



place, éloignons la tige B'C' de la tige BC. Nous constatons, après avoir éloigné A, que chacune des deux parties est électrisée : BC positivement, B'C' négativement. Mettons-les en contact; toute trace d'électrisation disparaît.

Par influence, nous avons développé les deux espèces d'électricité en quantités égales; les charges positives et négatives se sont "neutralisées" lorsque nous avons remis BC en contact avec B'C'.

Pour interpréter ce phénomène, le plus simple est d'admettre que le conducteur contient dans chacune de ses parcelles des charges électriques positives et négatives en quantités égales. Si nous approchons de ce conducteur une substance électrisée négativement A, une partie de l'électricité négative de BC est repoussée vers B'C'. Ce serait l'inverse si A était électrisé positivement.

Nous sommes amenés à conclure sur l'ensemble de ces phénomènes qualitatifs d'électrisation, en généralisant les résultats précédents :

Toute substance électriquement neutre doit contenir les deux espèces d'électricité, en quantités égales. Électriser un corps c'est faire apparaître un excédent de charge en certains points de ce corps.

Si ce corps est un isolant, l'électrisation par contact déposera à sa surface une charge positive ou négative; cette charge demeurera à l'endroit du contact.

Un corps isolant ne peut être électrisé par influence puisque les charges électriques ne peuvent s'y mouvoir.

Au contraire, si le corps est conducteur, une charge déposée à la surface se répandra sur toute cette surface; le corps pourra subir l'électrisation par influence.

H. BAÏSSAS, M. HURIN, H. GUIMIOT - COURS DE SCIENCES PHYSIQUES, Classiques Hachette, Paris 1970

É L E C T R O C I N É T I Q U E

LES EFFETS DU COURANT ÉLECTRIQUE

Généralités

Le terme "courant électrique" est devenu familier à tout le monde. Si nous fermons un interrupteur de notre installation électrique, nous allumons une lampe à incandescence, nous mettons en service un radiateur électrique, nous pouvons faire tourner un moteur d'aspirateur, de machine à laver,... Le passage du courant dans le circuit se manifeste ainsi par certains effets. Si nous ouvrons l'interrupteur, si nous "coupons" le courant, tous ces effets cessent.

Comment le circuit de notre installation est-il constitué? Des fils métalliques, le plus souvent en cuivre, arrivent à l'interrupteur, puis à la lampe ; à l'interrupteur nous avons deux bornes séparées par de la porcelaine ou une matière plastique. Pour que le courant passe dans la lampe, il faut que les deux bornes de l'interrupteur soient réunies par une plaquette métallique. Le courant ne peut donc circuler que dans certains corps (les métaux par exemple) que nous avons déjà appelés en électrostatique des c o n d u c t e u r s ; il ne circule pas dans les substances que nous avons appelées des i s o l a n t s. On comprend mieux ces dénominations : les corps conduisent le courant ou ne le laissent pas passer.

Générateurs d'électricité ou électromoteurs

Nous savons que nous pouvons allumer une lampe de poche au moyen d'une "pile", allumer les phares ou faire tourner le démarreur d'un automobile au moyen d'une "batterie d'accumulateurs", produire du courant grâce à une "dynamo",...

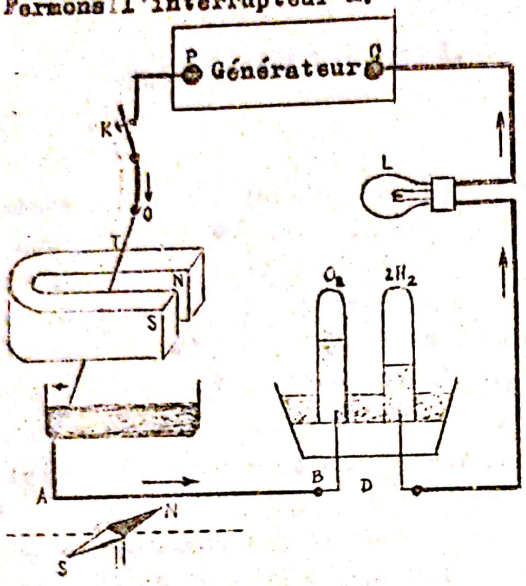
Tous ces appareils usuels sont appelés des générateurs d'électricité ou mieux des électromoteurs.

Tous les électromoteurs possèdent deux "bornes" ou pôles ; pour produire un courant électrique, il faut réunir ces pôles par un circuit formé de corps conducteurs.

Les trois effets du courant électrique

Prenons comme générateur une batterie d'accumulateurs ; relions ses pôles à un circuit comprenant un interrupteur K, un fil AB tendu h

horizontalement au-dessus d'une boussole, une tige T verticale mobile autour d'un point O et trempant dans un bain de mercure, une lampe à incandescence L, une cuve à électrolyse D comportant deux électrodes de platine et contenant de l'eau additionnée d'un peu d'acide sulfurique. Fermons l'interrupteur K.



1. La lampe "s'allume" : il y a eu échauffement du filament.

2. Un dégagement gazeux se produit aux électrodes de la cuve à électrolyse ; de l'hydrogène se dégage à l'une des électrodes, de l'oxygène à l'autre.

3. L'aiguille aimantée constituant la boussole dévie : le courant exerce sur cette aiguille des forces que nous appellerons forces magnétiques. Si nous disposons un aimant en fer à cheval de façon que la tige verticale T soit placée entre ses pôles, nous constatons que cette tige se place obliquement : le conducteur parcouru par un courant et placé au voisinage d'un aimant est soumis à des forces ; c'est un autre aspect de l'effet magnétique.

Le passage d'un courant dans un circuit peut se manifester par les trois effets suivants :

effet chimique - effet calorifique - effet magnétique.

Les deux derniers effets existent toujours, quel que soit le conducteur ; le premier n'existe qu'avec certains conducteurs, appelés électrolytes.

L'effet magnétique se présente sous un double aspect : action d'un aimant sur un courant, action d'un courant sur un aimant. C'est l'étude détaillée de ces phénomènes qui nous permettra de comprendre le fonctionnement des moteurs électriques.

DÉGAGEMENT DE CHALEUR DANS UN CONDUCTEUR

Étude expérimentale

C'est un fait d'observation journalière que le passage du courant électrique dans un conducteur dégage de la chaleur ; nous utilisons des fers à repasser électriques, des radiateurs électriques, des réchauds et cuisinières électriques etc.

Ce dégagement de chaleur a été étudié par le physicien anglais Joule

qui en établit les lois vers 1840, d'où le nom d' **effet Joule** donné à ce phénomène.

L'étude quantitative en est réalisée au moyen d'un calorimètre contenant de l'eau ou mieux du pétrole (chaleur massique 0,5); dans ce calorimètre plonge un fil conducteur assez fin. Un ampèremètre placé sur le circuit (en série avec le conducteur) permet de mesurer l'intensité du courant. L'élévation de température est repérée grâce au thermomètre et le temps de passage du courant est mesuré avec un chronomètre.

Si M est la valeur en eau totale du calorimètre et des accessoires, y compris le conducteur, θ_1 la température initiale, θ_2 la température finale, la quantité de chaleur dégagée pendant l'expérience est:

$$Q = M(\theta_2 - \theta_1) = M \cdot \Delta\theta$$

1. Maintenons I constant et faisons varier la durée de l'expérience. Nous constatons que pour les durées t, 2t, 3t,... les élévations de température observées sont $\Delta\theta$, $2\Delta\theta$, $3\Delta\theta$..., et les quantités de chaleur dégagées sont alors Q, 2Q, 3Q,...

La quantité de chaleur dégagée par un courant d'intensité constante est proportionnelle à la durée de passage du courant.

2. Faisons passer le courant pendant le même temps t, mais en faisant varier son intensité.

Si les intensités utilisées sont: I, 2I, 3I, nous constatons que les variations de température du calorimètre sont $\Delta\theta$, $4\Delta\theta$, $9\Delta\theta$, c'est-à-dire $\Delta\theta$, $\Delta\theta \times 2^2$, $\Delta\theta \times 3^2$,...

La quantité de chaleur dégagée dans un conducteur en un temps fixé est proportionnelle au carré de l'intensité du courant.

3. Si nous changeons de conducteur, nous constatons expérimentalement que, pour une même intensité et une même durée de passage du courant, la quantité de chaleur dégagée varie avec le conducteur.

Loi de Joule

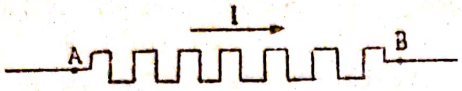
Nous pouvons résumer les résultats des expériences précédentes dans l'énoncé suivant connu sous le nom de **loi de Joule**:

La quantité de chaleur dégagée par le passage d'un courant électrique dans un conducteur :
- est proportionnelle à la durée de passage du courant;
- est proportionnelle au carré de l'intensité;
- dépend du conducteur.

LOI D'OHM

Tension aux bornes d'une résistance morte

Prenons une résistance unique AB, simple résistance d'un conducteur. Nous savons que la seule manifestation du passage du courant sera, dans ce cas, un dégagement de chaleur. On dit que la résistance R est alors résistance pure ou résistance morte. Si elle est parcourue par un courant d'intensité I, la quantité de chaleur dégagée pendant un temps t est donnée en joules par:



$$W = RI^2t.$$

Le courant est dû au passage d'une quantité d'électricité q pendant ce temps t, et nous avons appris que l'énergie qu'il fournissait avait pour valeur:

$$W = q(V_A - V_B).$$

Rappelons que $(V_A - V_B)$ est la différence de potentiel ou tension exprimée en volts, existant entre les points A et B.

On peut donc écrire:

$$q(V_A - V_B) = RI^2t.$$

En remplaçant q par l'expression It et en simplifiant, on obtient:

$$\boxed{V_A - V_B = RI},$$

relation qui traduit la loi d'Ohm :

> La différence de potentiel entre deux points d'un conducteur dans lequel l'énergie électrique est intégralement transformée en chaleur, se mesure par le produit de l'intensité du courant par la résistance du conducteur.

Le produit RI est souvent appelé : chute ohmique de potentiel; dans la relation $V_A - V_B = RI$, $V_A - V_B$ est exprimé en volts, R en ohms, I en ampères.

Exemple

Une lampe à incandescence branchée sur une prise de courant de 12o volts est parcourue par un courant de 0,3 ampère. Quelle est sa résistance?

Il suffit d'appliquer la loi d'Ohm : $V_A - V_B = RI$.

$$R = \frac{V_A - V_B}{I} = \frac{12o}{o,3} = 4oo\ \Omega$$

Définition légale de l'ohm

La définition légale de l'ohm(définition internationale d'ailleurs) est fondée sur la loi d'Ohm :

L'ohm est la résistance électrique qui existe entre deux points d'un fil conducteur (résistance morte) lorsqu'une différence de potentiel de un volt, appliquée entre ces deux points, produit dans ce conducteur un courant de un ampère.

H.BAÏSSAS,M.EURIN,H.GUIMIOT - COURS DE SCIENCES PHYSIQUES, Classiques Hachette, Paris 197o

ÉLECTROLYSE. LOI DE FARADAY.

Dans un conducteur solide, aussi bien que dans un métal à l'état liquide, le mercure,par exemple, rien n'indique qu'un transport quelconque de matériau ait lieu au cours du passage d'un courant électrique. Il n'en est pas de même dans des solutions d'acides, bases ou sels que l'on appelle "électrolytes".

Plaçons deux plaques d'argent dans une solution de nitrate d'argent et branchons entre elles une source de courant continu. La plaque par laquelle le courant entre dans le liquide est appelée l' a n o d e, celle par laquelle le courant sort, l a c a t h o d e. Ces deux plaques sont les é l e c t r o d e s. Nous les avons pesées avant le début de l'opération et nous recommençons au bout de quelque temps: le poids de l'anode a diminué et celui de la cathode a augmenté de la même valeur. Ainsi le passage du courant a été accompagné de transport de matière, en l'occurence de transport d'argent. De manière analogue, on observe un transport de cuivre au cours du passage d'un courant dans une solution de sulfate de cuivre, les électrodes employées étant en cuivre. Avec des électrodes de platine dans de l'eau acidifiée, on observe cette fois pendant le passage du courant, un dégagement gazeux sur les deux électrodes, de l'hydrogène sur la cathode et de l'oxygène sur l'anode. Ces phénomènes sont des é l e c t r o l y s e s.

C'est à FARADAY (1791 - 1867) que nous devons la loi quantitative décrivant le phénomène :

Le passage d'un courant constant i dans une solution acide d'un élément de valence n et de masse atomique A pendant le temps t

en libère une quantité de poids G tel que :

$$G = \frac{A}{n} \frac{i \cdot t}{F} .$$

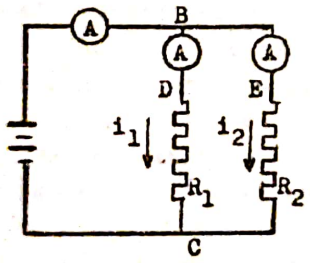
Dans cette équation, F représente une constante de proportionnalité, dont la valeur dépend du choix des unités. Si i est exprimé en ampères, t en secondes et G en kilogrammes, $F = 9{,}652 \times 10^7$.

L'électrolyse est basée sur le fait que les molécules d'acides, bases ou sels donnent en solution des ions positifs et négatifs dont la charge est un multiple de la charge de l'électron. Le courant à travers la solution consiste ainsi en un déplacement des ions positifs vers la cathode et des ions négatifs vers l'anode.

R.KRONIG - PRÉCIS DE PHYSIQUE GÉNÉRALE, tome II: ÉLECTRICITÉ , Dunod, Paris, 1962

CONDUCTEURS EN PARALLÈLE. PREMIÈRE LOI DE KIRCHHOFF.

Dans le circuit électrique représenté sur la figure le courant en B peut emprunter soit le trajet BDC, soit le trajet BEC. Soient R_1 et R_2 les résistances des deux branches. Trois ampèremètres nous donnent les courants, i dans la branche principale, i_1 et i_2 dans BDC et BEC. Ils permettent de vérifier les deux lois suivantes:



Répartition des courants dans des conducteurs branchés en parallèle.

a) La somme des courants des branches dérivées est égale au courant du conducteur principal:

$$i = i_1 + i_2 \qquad (1)$$

b) Les courants dans les branches dérivées sont inversement proportionnels aux résistances:

$$i_1/i_2 = R_2/R_1 \qquad (2)$$

Ces lois restent valables si le courant principal se partage en plus de deux conducteurs. Un point tel que B est dit noeud du réseau.

En comptant comme négatif un courant se dirigeant vers un noeud et positif, un courant s'éloignant d'un noeud, la première loi peut s'exprimer brièvement en disant que: En un noeud d'un réseau, la somme algébrique des intensités électriques est nulle. Cette loi exprime donc qu'en un noeud il n'y a ni perte, ni accumulation d'électricité.

De manière générale, nous écrivons la première loi de KIRCHHOFF:

$$\boxed{\sum i = 0}$$

R.KRONIG - PRÉCIS DE PHYSIQUE GÉNÉRALE. ÉLECTRICITÉ, Paris 1962

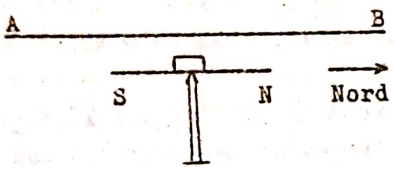
ÉLECTROMAGNÉTISME

CHAMPS MAGNÉTIQUES DES COURANTS

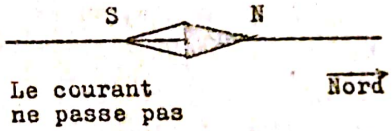
Expérience d'Oersted

Le champ d'induction magnétique créé par un courant a été mis en évidence pour la première fois en 1819 par Oersted.

On peut répéter son expérience de la façon suivante: au-dessus d'une aiguille aimantée placée dans le champ terrestre et mobile autour d'un axe vertical, disposons un fil conducteur AB parallèle à la ligne des pôles, donc situé dans le plan du méridien magnétique.

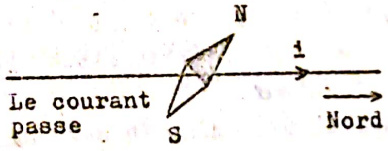


Faissons passer un courant dans le fil: l'aiguille dévie; inversons le sens du courant, l'aiguille dévie en sens contraire.



Le sens de la déviation est donné par la règle de l'observateur d'Ampère.

RÈGLE. Le pôle nord de l'aiguille aimantée dévie vers la gauche d'un observateur qui, regardant l'aiguille, est couché le long du fil de façon que le courant entre par ses pieds et sorte par sa tête.



Le sens de déviation du pôle nord caractérise la direction du champ magnétique au point où se trouve ce pôle nord.

Nous pouvons donc dire que, en un point A, le champ magnétique créé par un courant est dirigé vers la gauche de l'observateur d'Ampère regardant ce point.

Remarque

Nous avons supposé l'utilisation de conducteurs métalliques, mais les phénomènes observés sont les mêmes si on prend des conducteurs électrolytiques, comme des tubes remplis de solution de sulfate de cuivre, par exemple: on peut répéter l'expérience d'Oersted avec un tel tube parcouru par un courant.

L'étude qualitative du champ d'induction créé par un courant peut être faite, comme dans le cas des aimants, au moyen d'une très petite boussole mobile sur pivot ; la direction SN indique la direction du vecteur induction. Pour étudier le champ dans son ensemble, il est plus facile de réaliser des expériences de spectres magnétiques.

CONDENSATEURS ET COURANT ALTERNATIF

PRINCIPE DES ALTERNATEURS

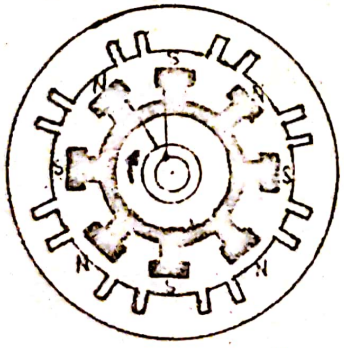
Description

Les alternateurs sont des générateurs industriels de tension alternative.

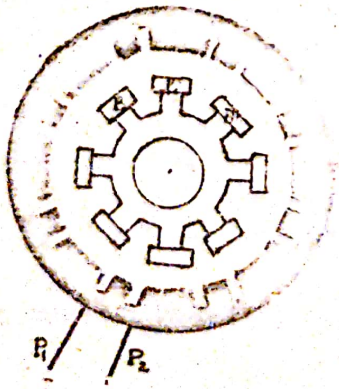
L'expérience de l'aimant tournant devant une bobine est l'image d'un alternateur ; d'ailleurs les magnétos d'éclairage des bicyclettes fonctionnent de cette façon.

Transposons cette expérience sur le plan industriel, de façon à réaliser une force électromotrice d'induction beaucoup plus grande.

Rotor (inducteur)



Stator (induit)



- L'aimant inducteur est remplacé par une succession d'électro-aimants, disposés à la périphérie d'un volant: c'est l'inducteur ou le rotor de l'alternateur, entraîné par un moteur.

Les électro-aimants sont en nombre pair, de façon à présenter successivement un pôle nord N et un pôle sud S. À cet effet, ils sont montés en série, mais les enroulements changent de sens quand on passe de l'un à l'autre.

Le courant d'excitation des électro-aimants est un courant continu à basse tension fourni par une dynamo auxiliaire ; il arrive par deux frotteurs sur deux colliers c et c' liés à l'axe de rotation et auxquels sont soudées les extrémités du circuit d'alimentation des électro-aimants.

- La bobine induite de l'expérience est remplacée par une succession de bobines B, B', B'' disposées à l'intérieur d'une couronne fixe, en nombre égal à celui des pôles de l'inducteur.

C'est l' i n d u c t e u r ou le s t a t o r de l'alternateur, qui repose sur de solides fondations en ciment; la couronne est formée de tôles juxtaposées, afin d'éviter des pertes d'énergie par courants de Foucault.

Toutes les bobines sont montées en série, mais, comme pour les électro-aimants de l'inducteur, le sens de l'enroulement change quand on passe de l'une à l'autre. Les bornes de ce circuit induit sont P_1 et P_2.

L'induit étant fixe, il est plus facile d'obtenir des différences de potentiel assez grandes, de l'ordre de 10.000 volts par exemple, ce qui ne serait pas possible si l'on utilisait des balais frottant sur des colliers.

Fonctionnement

Lorsqu'un pôle nord N s'approche de la bobine B, le flux magnétique augmente dans B, qui est le siège d'une force électromotrice d'induction; il en est de même pour la bobine B'', et ainsi de suite de deux en deux. Mais en même temps, un pôle sud s'approche des bobines intermédiaires B', et ainsi de suite de deux en deux: ces bobines sont le siège d'une force électromotrice d'induction en sens contraire de celles qui apparaissent dans les bobines précédentes. Mais comme les sens des enroulements sont alternés quand on passe d'une bobine à la suivante, il en résulte que toutes les forces électromotrices s'ajoutent et leur somme apparaît aux bornes P_1 et P_2 de l'induit.

Puis ce sont des pôles sud qui s'approchent des bobines B, B'' etc., des pôles nord qui s'approchent des bobines B' etc. : tout est pareil, sauf le signe qui est changé. Enfin, on retrouvera une nouvelle période lorsque, à nouveau, un pôle nord s'approchera de B, un pôle sud de B', comme au début. Notons que l'entrefer ne dépassa pas quelques millimètres.

On dispose donc en P_1 et P_2 d'une force électromotrice alternative.

H.BAÏSSAS, M.EURIN, H.GUIMIOT - COURS DE SCIENCES PHYSIQUES. ÉLECTRICITÉ , Classiques Hachette, Paris 1970.

EXERCICES ET PROBLÈMES

-o- Une petite sphère est mise au contact d'une machine électrostatique et prend une charge négative de $0{,}8.10^{-7}$ coulomb. Quel est le nombre d'électrons portant la même charge?

-o- Une charge ponctuelle A vaut 10^{-8} coulomb; une charge ponctuelle B de même signe vaut 10^{-10} coulomb; elles sont distantes de 10 cm. À quelle distance de A faut-il placer sur la droite AB une troisième charge ponctuelle pour qu'elle soit en équilibre?

-o- Trois charges ponctuelles égales chacune à 10^{-8} coulomb sont placées aux sommets d'un triangle équilatéral de côté mesurant 5 cm. À quelle force est soumise l'une des charges de la part des deux autres?

-o- Une petite sphère métallique porte une charge de 10^{-8} coulomb; on amène à son contact une sphère identique non chargée, puis on l'en éloigne à une distance de 6 cm. À quelle force est elle soumise?

-o- L'atome d'hydrogène est formé d'un noyau chargé positivement et d'un électron qui en est situé à une distance de 54×10^{-9} mm. Les charges du noyau et de l'électron sont égales en valeur absolue, celle de l'électron valant $-1{,}6 \times 10^{-19}$ coulomb. Calculer la force d'attraction.

-o- Lors d'une mesure à la balance de Coulomb, on mesure une torsion $\theta = 45^{\circ}$ pour un angle $\alpha = 45^{\circ}$; utiliser le résultat indiqué pour calculer la torsion θ correspondant à un angle $\alpha = 30^{\circ}$ en supposant que la force f est la même dans les deux cas.

-o- En un point A se trouve une charge q . En un point B tel que AB = 16 cm se trouve la charge 9q. À quelle distance de A une charge q' sera-t-elle en équilibre?

-o- Une quantité d'électricité de 0,1 ampèrebeure est débitée en 10 minutes ; quelle est l'intensité du courant?

-o- Un courant de 1 microampère (10^{-6} ampère) passe pendant 24 heures ; quelle est la quantité d'électricité transportée pendant ce temps?

-o- Une batterie d'accumulateurs peut fournir 9o ampèreheures . Elle est déchargée au bout de lo heures. Quelle intensité moyenne de courant a-t-elle fourni?

-o- Une lampe à incandescence alimentée par une batterie d'accumulateurs est parcourue par un courant de o,25 ampère. Elle fonctionne 2 heures par jour. Calculer en coulombs et en ampèreheures la quantité d'électricité qui la traverse journellement.

-o- Un fil de cuivre est traversé par un courant de 5 ampères;sa section est de 1 mm^2. Quelle est la vitesse d'entraînement de l'ensemble des électrons? Densité du cuivre: 8,9. Masse atomique du cuivre : 63,5. Charge de l'électron: 1,6 x lo^{-19}coulomb. Nombre d'Avogadro : 6 . lo^{23}.

-o- Un conducteur est traversé par un courant de 1 microampère (lo^{-6}A) ; calculer le nombre d'électrons qui traversent une section de ce conducteur en une seconde. On rappelle que la charge de l'électron est e = 1,6·lo^{-19}coulomb.

-o- Un générateur, mis en circuit au temps t = O, débite un courant d'intensité : $I = \frac{36o - t}{72 + t}$, où I est exprimé en ampères et t en secondes. Quelle est l'intensité initiale? Au bout de combien de temps le générateur ne fournira-t-il plus de courant? À quel instant donne-t-il un courant d'intensité moitié de la valeur initiale?

PRINCIPAUX SYMBOLES DE GRANDEURS UTILISÉES EN ÉLECTRICITÉ *)

a	épaisseur de pénétration
B	induction(valeur instantanée)
C	capacité
C*	capacité d'une ligne par unité de longueur
c	vitesse de la lumière dans le vide; masse magnétique (fictive) coulombienne
D	déclinaison magnétique; déplacement électrique
E	champ électrique
e	épaisseur ; charge élémentaire
F	force
f	fréquence (force)
G	conductance
G*	conductance d'une ligne par unité de longueur
H	champ magnétique (valeur instantanée)
$\mathcal{H}$	composante horizontale du champ terrestre
I	intensité d'un courant(valeur efficace); inclinaison magnétique
i	intensité d'un courant(valeur instantanée)
J	densité de courant ; polarisation magnétique
K	moment d'inertie
L	self-inductance
L*	self-inductance d'une ligne par unité de longueur
l	longueur
M	masse ; inductance mutuelle
m	moment magnétique ampérien
N	nombre de spires
N	nombre de spires par unité de longueur; nombre de tours par unité de temps; indice de refraction
P	puissance (moyenne)
p	puissance instantanée
Q	quantité d'électricité;facteur de qualité
q	quantité de chaleur
R	résistance électrique
R*	résistance d'une ligne par unité de longueur
T	période
t	temps
U	force électromotrice (valeur efficace)
u	force électromotrice (valeur instantanée)
V	différence de potentiel (valeur efficace)
v	différence de potentiel (valeur instantanée)
$\mathcal{V}$	composante verticale du champ terrestre
X	réactance
Y	admittance
Z	impédance

Lettres grecques

α,β	(alpha, bêta) angles
Γ	(grand gamma) moment d'un couple
γ	(gamma) conductivité
ε	(epsilonn) permittivité électrique
η	(èta) rendement
θ	(thèta) température; angle
λ	(lambda) longueur d'onde
μ	(mu) perméabilité magnétique
Π	(grand pi) vecteur de Poynting (valeur efficace)
π	(pi) vecteur de Poynting (valeur instantanée)
ρ	( ) resistivité
σ	(sigma)facteur de surtension
τ	(tau) constante de temps
φ	(phi) déphasage

*) d'après: P.FLEURY et J.P.MATHIEU - "Courants alternatifs.Ondes hertziennes", Éditions Eyrolles, Paris 1962

C H I M I E M I N É R A L E

LA NOTATION CHIMIQUE

L'une de toutes premières préoccupations des chimistes a été d'adopter une notation qui permette de représenter simplement les différents corps et les réactions chimiques.

Pendant que s'élaborait l'hypothèse atomique et moléculaire, le grand savant suédois Berzélius imagina une représentation schématique des atomes et des molécules qui, après quelques modifications, devint la base d'une véritable convention internationale dont nous allons exposer les points essentiels.

Représentation symbolique des éléments

Les atomes

La première idée qui vint à l'esprit fut de représenter les différents atomes par une lettre, en général la première du nom. Deux lettres furent parfois nécessaires pour éviter toute confusion (carbone, cuivre, calcium, cobalt, chrome...).

La mole d'atomes : le nombre d'Avogadro

Cependant, cette notation n'est pas commode, car les atomes sont des particules trop petites : la masse du plus léger, l'atome d'hydrogène, est $1{,}7.10^{-27}$kg. Une telle valeur numérique, même si on l'exprime en gramme ou en milligramme, est évidemment quasi inutilisable. On peut penser à définir une unité de masse atomique (u.m.a.) telle que la masse de l'atome d'hydrogène soit, par exemple, 1 u.m.a.

On a préféré ne pas changer d'unité mais raisonner avec un groupe d'atomes plutôt qu'avec un atome individuel. On peut choisir ce groupe pour que la masse du plus léger, l'hydrogène, soit 1 gramme.

En fait, ce n'est pas l'hydrogène que l'on choisit comme atome de référence. On lui préfère un atome qui s'associe à tous les autres éléments : cela permettra de les comparer entre eux.

Le groupe choisi contient toujours le même nombre d'atomes. On l'appelle une mole d'atomes.

Convention. Le nombre d'atomes contenus dans une mole est choisi pour que la masse d'une mole d'atomes de carbone soit 12.10^{-3}kg (12 grammes).

La masse d'une mole d'atomes de carbone de nombre de nucléons 12 est 12 grammes. La masse exacte d'une mole d'atomes de carbone naturel est 12,01115 g.

On peut associer le carbone aux autres éléments et connaître par comparaison la masse d'une mole d'atomes de chacun d'eux, qu'on appelle la masse atomique.

Définition. On appelle masse atomique d'un élément la masse d'une mole d'atomes de cet élément.

La masse atomique de l'hydrogène est pratiquement égale à 1 gramme. La masse atomique de l'oxygène est pratiquement égale à 16 grammes.

D'une manière générale on mesure souvent la masse atomique des éléments en grammes. Les mesures ont été effectuées avec différentes méthodes; elles ont conduit à des résultats très précis.

Le nombre d'atomes contenus dans une mole est appelé le nombre d'Avogadro. Nous le représenterons toujours par le même symbole : $\mathcal{N}$

$$\mathcal{N} = \frac{12.10^{-3}}{\text{masse d'un atome de carbone (en kg)}} .$$

Sa valeur a pu être déterminée : $\mathcal{N} = 6,02.10^{23}$.

Evidemment, le nombre d'Avogadro est très grand. Pour avoir une idée de sa grandeur, songeons qu'il y a dans une année 31 536 ooo secondes; il faudrait environ 2.10^{16} années, c'est-à-dire 2o millions de milliards d'années pour compter $\mathcal{N}$ secondes. Or l'âge de la Terre est évalué, seulement, à 4,5 milliards d'années environ!

Le symbole des éléments

Tous les raisonnements de la chimie se font avec des moles d'atomes. Plutôt que de représenter les atomes individuels, il est préférable que le symbole représente une mole d'atomes.

Le symbole d'un élément est constitué par la première lettre de son nom, parfois de son nom latin; parfois le symbole est constitué de deux lettres. Dans tous les cas, la première lettre est une majuscule.

Par exemple:

H représente une mole d'atomes d'hydrogène ($\mathcal{N}$ atomes).
O représente une mole d'atomes d'oxygène.
C représente une mole d'atomes de carbone.
Cu représente une mole d'atomes de cuivre.

ANDRÉ CROS - INITIATION À LA CHIMIE MODERNE,
Librairie Eugène Belin, Paris, 1968

Scanned with OKEN Scanner

LA CLASSIFICATION PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS

Historique

Depuis longtemps, les chimistes ont cherché à ordonner leurs connaissances et à classer les éléments de manière logique. De nombreux essais de classification furent proposés sans grand succès par différents auteurs. En 1869, le chimiste russe Dimitri Mendeleiev établit la classification périodique des éléments. Complétée par la suite, elle se révèle de nos jours un instrument de travail remarquable. L'idée de base est due à une observation : en rangeant les éléments dans l'ordre des masses atomiques croissantes, une certaine périodicité se retrouve dans les propriétés.

La classification périodique actuelle des éléments

La classification des éléments par Mendeleiev, basée sur l'observation trouve de nos jours des assises particulièrement solides dans la structure des atomes. Les éléments sont disposés dans l'ordre croissant de leur numéro atomique (et non de leur masse). À chaque ligne du tableau correspond le remplissage d'une couche électronique. Ainsi, par exception, la première ligne ne renferme que deux éléments : l'hydrogène et l'hélium ($Z = 1$ et $Z = 2$). Ils sont disposés l'un à la première case, l'autre à la dernière. Les autres renferment un élément dans chaque colonne: il y a huit colonnes parce que chaque couche électronique peut contenir huit électrons. La deuxième ligne renferme tous les éléments dont le numéro atomique varie depuis $Z = 3$ jusqu'à $Z = 10$, la troisième, tous les éléments depuis $Z = 11$ jusqu'à $Z = 18$ et ainsi de suite. Au-delà du dix-huitième élément, le remplissage des couches électroniques est plus complexe et cela se traduit par un nombre de colonnes supérieur à huit.

Étude de la classification périodique des éléments

Les relations entre la structure atomique et la classification des éléments sont évidentes. On peut presque dire que Mendeleiev avait prévu cette structure électronique. Il ignorait pourtant tout des électrons, mais il supposa avec raison, que la périodicité dans les propriétés avait son origine dans la structure de l'atome.

- Dans une même colonne, tous les atomes possèdent le même nombre d'électrons dans la dernière couche. Ce nombre est le numéro de la colonne.
- L'expérience montre que les éléments d'une même colonne possèdent des propriétés voisines sinon semblables.

Scanned with OKEN Scanner

- En outre, on constate que la dernière colonne, celle pour laquelle toutes les couches contenant des électrons sont saturées, est celle des gaz rares. Or ces derniers ont une inertie chimique remarquable: pratiquement ils ne donnent aucune combinaison avec un autre atome. Cela signifie que leur structure, où toutes les couches électroniques sont saturées, est particulièrement stable.

Pour tenir compte de ces faits, on a groupé les éléments par familles formant des ensembles très homogènes : famille des métaux alcalins (première colonne), famille des métaux alcalino-terreux (deuxième colonne), famille des halogènes (septième colonne), famille des gaz rares (huitième colonne).

Conclusion

Un rapprochement de ces constatations permet d'admettre que:

- l'essentiel des propriétés chimiques des atomes dépend des électrons de la dernière couche, et plus spécialement du nombre d'électrons qu'elle renferme;
- la stabilité chimique maximale est obtenue lorsque toutes les couches contenant des électrons sont saturées.

ANDRÉ CROS - INITIATION À LA CHIMIE MODERNE,
Librairie Eugène Belin, Paris, 1968

LE MÉCANISME DES RÉACTIONS CHIMIQUES

Généralités : l'agitation moléculaire

Nous savons que les molécules de tous les corps, gazeux en particulier, sont animées d'un mouvement rapide et désordonné. Il en résulte un grand nombre de collisions entre elles. Ces chocs produisent une réaction chimique. Pour bien le comprendre, choisissons l'exemple d'une réaction simple dans laquelle la molécule du corps formé est diatomique, et où tous les corps sont gazeux.

Le mécanisme d'une réaction simple

À température assez élevée (par exemple 400 ou 500°C) l'iode et l'hydrogène gazeux mis en présence réagissent l'un sur l'autre. Un composé nouveau prend naissance : l'iodure d'hydrogène.

Au cours de l'agitation moléculaire, il arrive que le choc se produise entre une molécule d'iode I_2 et une molécule d'hydrogène H_2 .

S'il est suffisamment violent, les molécules peuvent se briser. Les quatre atomes en présence peuvent alors s'associer de façon différente et former deux molécules de formule HI (iodure d'hydrogène) : c'est la réaction chimique. Il faut noter cependant que tous les chocs ne donnent pas obligatoirement lieu à une réaction.

Notion d'équilibre chimique

Nous remarquons avec cet exemple un phénomène particulièrement important: les molécules HI formées sont-elles aussi animées d'une grande vitesse d'agitation. Des chocs se produiront entre deux molécules d'iodure d'hydrogène. Lorsqu'ils seront suffisamment violents, un phénomène inverse du précédent pourra se produire : destruction de deux molécules HI et formation d'une molécule I_2 et d'une molécule H_2.

Dans la majorité des cas, il est plus facile de détruire les molécules des produits initiaux (ici H_2 et I_2) que celles des produits finaux (ici HI). La réaction chimique ne se produit pratiquement que dans un seul sens.

Dans d'autres cas, les deux réactions inverses se produisent à peu près également (c'est le cas, en particulier de l'exemple choisi). On dit que la réaction est réversible et donne naissance à un équilibre chimique : les trois corps existent simultanément. L'état final du système est atteint lorsqu'il se forme autant de molécules d'iodure d'hydrogène qu'il s'en détruit pendant le même temps. L'équilibre de l'ensemble n'est donc pas statique à l'échelle microscopique. Les deux réactions chimiques, inverses l'une de l'autre, s'y produisent simultanément. C'est un équilibre dynamique.

Un exemple de réaction plus complexe

Si nous choisissons l'exemple de la synthèse de l'eau, le problème est plus compliqué car la molécule finale est triatomique. On peut par exemple imaginer que deux molécules d'eau ($2H_2O$) se forment au cours d'un choc entre deux molécules d'hydrogène ($2H_2$) et une molécule d'oxygène (O_2). Mais on peut aussi imaginer la formation d'une seule molécule d'eau au cours d'un choc entre une molécule d'oxygène (O_2) et une molécule d'hydrogène (H_2) : il reste alors un atome libre d'oxygène (O) qui peut réagir ensuite sur une autre molécule d'hydrogène (H_2), pour donner une autre molécule d'eau (H_2O). Le mécanisme de cette dernière réaction est plus complexe.

L'influence de la température sur une réaction chimique

Nous voyons par ces exemples qu'une réaction chimique peut se produire si les molécules initiales sont suffisamment agitées. C'est par -

fois possible, dès la température ordinaire. Le plus souvent il est nécessaire de chauffer pour augmenter l'agitation : l'élévation de température amorce la réaction.

En outre, le nombre de chocs pendant un intervalle de temps donné est plus grand si les molécules sont plus agitées: l'élévation de température augmente la vitesse de la réaction.

Le bilan énergétique des réactions chimiques

Nous constaterons que de telles réactions chimiques produisent souvent un dégagement de chaleur important. C'est le cas pour la formation de molécules d'eau: la réaction peut être explosive. Au cours d'une réaction chimique, le dégagement de chaleur peut provenir des chocs donnant naissance à des molécules nouvelles (comme le choc d'un marteau sur une enclume produit aussi de la chaleur); mais il est souvent d'origine plus complexe.

Une réaction qui produit un dégagement de chaleur est dite exothermique ou exoergique.

Dans d'autres cas, l'énergie qu'il faut fournir aux molécules initiales est bien plus grande que celle que peut produire la formation de molécules nouvelles. Au total, la réaction chimique absorbe de la chaleur: elle est endothermique ou endoergique.

Conclusion

Nous retiendrons de ces exemples simples que des réactions chimiques peuvent se produire lorsque des molécules différentes sont en mélange et que leur vitesse d'agitation est suffisamment grande. Dans tous les cas, même pour les plus complexes, la réaction chimique consiste en une rupture des molécules initiales avec réarrangement différent des atomes formant des molécules nouvelles.

LOI DE CONSERVATION DE LA MATIÈRE
(LOI DE LAVOISIER)

On peut déduire des explications précédentes l'une des lois les plus importantes de la chimie: la loi de conservation de la matière ou loi de Lavoisier:

Au cours d'une réaction chimique, la masse des produits finaux est la même que celle des produits initiaux.

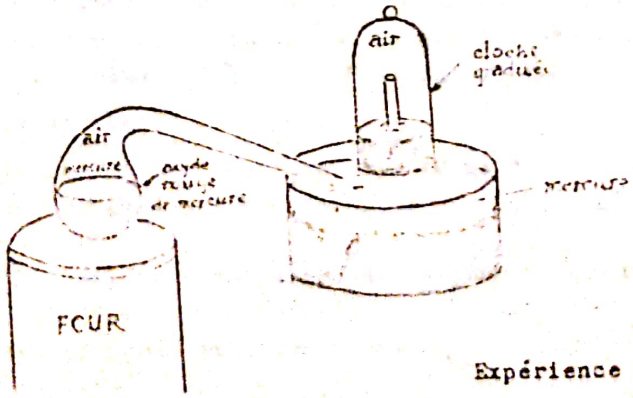
Lorsque Lavoisier découvrit peu à peu et énonça cette loi, il s'agissait d'un fait très important. Ce fut le point de départ de la chimie moderne. Actuellement, elle nous apparaît évidente puisque nous savons ce qu'est une réaction chimique; nous savons que les atomes sont conservés en nombre, donc en masse. Il nous faut donc considérer que la loi de Lavoisier n'est que l'expression d'une loi plus générale et plus importante:

Les atomes se conservent dans toutes les réactions chimiques.

Remarque. La physique moderne nous apprend que la loi de conservation de la masse n'est pas rigoureuse. La chaleur qui se dégage au cours d'une réaction chimique s'accompagne toujours d'une certaine perte de masse : c'est une très légère quantité de matière qui s'est transformée en chaleur. Mais ce phénomène est imperceptible dans toutes les réactions chimiques, et la loi de conservation de la matière conserve tout son sens.

Exemple d'exercice résolu

Enoncé. On chauffe pendant douze jours trois litres d'air enfermé dans une cornue contenant également un litre de mercure : expérience de Lavoisier, 1774. On constate que le volume d'air diminue de 1/6 : une partie de l'oxygène s'associe au mercure et disparaît sous la forme d'une poudre rouge qui flotte sur ce liquide et qu'on appelle l'oxyde de mercure. Un litre d'oxygène pèse 1,43 g dans les conditions de l'expérience.
Calculer la différence entre la masse de mercure disparu et la masse d'oxyde rouge de mercure formé. Quelle est la masse de cet oxyde de mercure ?
On admettra pour cette dernière question que la composition de celui-ci est la suivante : 16 g d'oxygène pour 2oo g de mercure.



Expérience de Lavoisier

Solution.

Le volume d'air emprisonné dans l'appareil est 3 litres. 1/6 seulement a disparu : c'est de l'oxygène.

volume d'oxygène disparu : 3 litres x 1/6 = 0,5 litre.

masse d'un litre d'oxygène : 1,43 g.

masse de l'oxygène disparu : 1,43 g x 0,5 = 0,715 ≈ 0,72 g

Nous admettrons, avec Lavoisier, que rien n'a été perdu au cours de l'expérience: la masse des produits initiaux (3 litres d'air; 1 litre de mercure) est égale à celle des produits finaux (2,5 litres de gaz restant, soit presque essentiellement de l'azote; l'oxyde rouge de mercure formé; le mercure non utilisé pour la formation de cet oxyde).

Avec l'oxygène, une certaine masse de mercure a disparu : m grammes

La masse de l'oxyde de mercure formé doit donc être égale à la somme des masses des produits disparus: m + 0,72 g.

La différence entre la masse de mercure disparu et la masse d'oxyde formé est 0,72 g.

ANDRÉ CROS - INITIATION À LA CHIMIE MODERNE,
Librairie Eugène Belin, Paris, 1968

Scanned with OKEN Scanner

LE CARBONE

L'élément carbone. C = 12.

L'élément carbone a pour masse atomique 12. Cette valeur est choisie conventionnellement comme base du système des masses atomiques.

Le numéro atomique du carbone est Z = 6.

Sa place dans la classification périodique montre que l'atome possède 4 électrons sur sa couche externe.

On peut donc prévoir les liaisons de l'atome de carbone : formation d'ion négatif (4^- : gain de 4 électrons), d'ion positif (4^+ : perte de 4 électrons) ou de 4 liaisons de covalence. En réalité, le gain ou la perte d'un nombre aussi élevé d'électrons ne se produit jamais.

L'atome de carbone s'unit aux autres atomes par des liaisons essentiellement covalentes, orientées symétriquement dans l'espace. On peut les considérer comme dirigées vers les quatre sommets d'un tétraèdre régulier dont l'atome de carbone occupe le centre.

Remarque. Le noyau de l'atome de carbone possède 6 protons et 6 neutrons (masse atomique 12). Il existe d'autres atomes (isotopes) dont l'un en particulier possède 8 neutrons (masse atomique 14); on l'écrit ^{14}C. C'est pour cette raison que la masse atomique du carbone naturel n'est pas exactement 12, mais 12,011.

Les variétés du carbone : propriétés physiques

On trouve dans la nature du carbone plus ou moins pur sous différents aspects. Certaines variétés sont très pures (diamant, graphite), d'autres sont assez impures (ce sont les différentes formes de charbon: houille, anthracite...).

Les variétés allotropiques du carbone pur

Le carbone pur existe sous deux formes parfaitement cristallisées: le diamant et le graphite. Il s'agit du même corps aux propriétés chimiques identiques : ce sont deux variétés allotropiques

Le diamant : ses propriétés

Le diamant se présente sous forme de cristaux transparents lorsqu'il est bien pur, parfois colorés. Lorsqu'il est impur, il peut être noir.

Quel que soit son degré de pureté, le diamant est remarquable par sa dureté: seul le carbure de bore (artificiel), de formule B_4C, est plus dur que lui. Le diamant est utilisé dans l'industrie comme abrasif

(en poudre) et pour la fabrication de pivots d'appareils de précision, ou de têtes d'appareils de forage.

Lorsqu'il est transparant, le diamant est une pierre précieuse très recherchée en raison de son éclat. Il nécessite généralement une taille. La taille du diamant se fait en usant le cristal avec sa propre poussière. La masse de la pierre précieuse est évaluée en carats (un carat vaut 0,2 g.). Le diamant est infusible : à température très élevée, il se transforme en graphite mais ne fond pas.

Le graphite : ses propriétés

Le graphite se trouve sous la forme de masses d'aspect métallique, gris noir, feuilletées ou fibreuses. Bien qu'ayant des propriétés pratiquement opposées à celles du diamant, c'est également du carbone pur.

- La densité du diamant est 3,51 ; celle du graphite 2,2.
- Le diamant est réputé pour sa dureté ; le graphite est très mou et peut être facilement rayé à l'ongle.
- Le diamant est un assez mauvais conducteur de la chaleur et de l'électricité (un semi-conducteur); le graphite est un bon conducteur.
- Le diamant est utilisé dans ses propriétés abrasives; le graphite est utilisé pour ses propriétés lubrifiantes (on l'incorpore à des huiles).
- Le graphite est utilisé pour la fabrication d'électrodes pour électrolyses, et dans l'industrie nucléaire comme ralentisseur de neutrons. Enfin, nous savons que les mines de crayon noir sont constituées par du graphite.

Les variétés du carbone impur, amorphe

Dans la nature, on ne trouve que très rarement le carbone pur cristallisé : diamant en Afrique du Sud, graphite à Ceylan et Madagascar. Par contre, on trouve de nombreux gisements de carbone impur, appelé communément charbon, et dû à la fossilisation de substances végétales.

La tourbe et les lignites sont pauvres en carbone : leur teneur ne dépasse pas 60 à 65 %. Les houilles peuvent en renfermer de 75 à 90 %. Les variétés les plus pures sont les anthracites : 94 %.

Parmi les variétés du carbone fabriquées par l'industrie, on peut citer :

- le charbon de bois, riche en carbone, obtenu par pyrogénation du bois;
- le noir animal, obtenu par pyrogénation d'os;
- les cokes, résidus de la distillation de la houille ou du pétrole. Leur importance est considérable en métallurgie;
- les charbons de cornue, déposés sur les parois des fours à coke, et

très purs ;

- les noirs de carbone sont des carbones pulvérulents, obtenus par décomposition ou combustion très incomplète de gaz carbonés (acétylène, méthane...)

Leurs principales propriétés. Parmi les différentes variétés de carbone, certaines présentent quelques propriétés particulières et remarquables :

- les charbons de bois absorbent les gaz, ce qui permet de les utiliser dans l'industrie (charbon actif), ou en médecine pour le traitement de certaines affections (aérophagie) ;
- certaines variétés de carbone absorbent les matières colorantes (noir animal) ;
- les noirs de carbone sont utilisés dans l'industrie du caoutchouc. Incorporé à ce dernier, le carbone en poudre en constitue "la charge" ; il améliore considérablement les propriétés mécaniques (en même temps qu'il donne la couleur noire bien connue).

Propriétés chimiques du carbone : son oxydation

En raison de sa structure particulièrement compacte et sans liaison libre, le diamant est moins réactif chimiquement que les autres variétés du carbone. Cependant, les propriétés chimiques que nous étudierons sont pratiquement les mêmes.

La plupart des réactions seront réalisées avec du carbone "amorphe" ou du graphite.

Généralités

Nous n'étudierons pas toutes les propriétés chimiques du carbone : sa facilité de liaison avec d'autres atomes est telle que les composés du carbone sont probablement plus nombreux, à eux seuls, que tous les autres corps que l'on peut rencontrer.

Quelques propriétés sont particulièrement importantes : il s'agit de l'oxydation du carbone et des propriétés qui en dérivent.

Combustion du carbone : oxydation par l'oxygène

a) Oxydation du carbone aux basses températures

Lorsqu'on réalise la combustion dans l'air, ou avec de petites quantités de produits, la température n'est jamais très élevée. Pratiquement, nous considérerons qu'il s'agit de basses températures au-dessous de 500°C. Dans ces conditions, il se forme uniquement du dioxyde de carbone.

On peut écrire

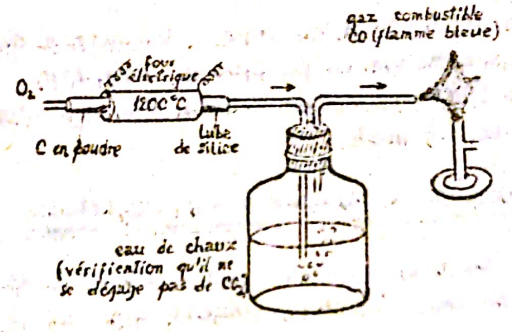
$$C + O_2 \longrightarrow \overline{CO_2} + \text{chaleur.} \qquad (1)$$

Le dégagement de chaleur est important : 393 kJ pour une mole de CO_2 formée.

b) Oxydation du carbone aux températures élevées

Lorsque la température est voisine de 1ooo°C (ou supérieure), la combustion du carbone ne fournit plus du dioxyde CO_2 mais du monoxyde CO.

Pour la réaliser, il faut utiliser un four électrique. L'expérience est assez dangereuse car le monoxyde de carbone est un gaz mortel; en outre, il ne possède aucune odeur qui permette de le déceler. On doit s'assurer que l'appareil ne comporte aucune fuite, et il est préférable de maintenir un bec Bunsen au voisinage du tube à dégagement, pour enflammer le gaz, plutôt que de le recueillir sur une cuve à eau.



La réaction peut s'écrire :

$$2\ C + O_2 \longrightarrow 2\ \overline{CO}\nearrow + \text{chaleur.} \qquad (2)$$

Le dégagement de chaleur est moins important que le précédent : 1o8,7 kJ par mole de monoxyde formé.

c) Oxydation du carbone aux températures intermédiaires

Aux températures intermédiaires, entre 5oo et 1ooo°C, on obtient un dégagement des deux gaz en même temps: CO et CO_2. Leur proportion relative dépend de la température : plus elle est élevée, plus il se forme de monoxyde, et inversement.

Nous écrirons à la fois les deux schémas :

$$C + O_2 \longrightarrow \overline{CO_2}\nearrow + \text{chaleur.} \qquad (1)$$

$$2\ C + O_2 \longrightarrow 2\ \overline{CO}\nearrow + \text{chaleur.} \qquad (2)$$

d) Interprétation

Pour bien comprendre la différence entre les deux types de combustion, on peut réaliser une nouvelle expérience: on conserve le montage de l'oxydation au four électrique, mais on envoie un courant de dioxyde de

carbone au lieu d'un courant d'oxygène. À la température de 1200°C, on observe de nouveau un dégagement de monoxyde de carbone identique à celui qui se serait produit avec un courant d'oxygène.

La réaction est :

$$C + CO_2 \longrightarrow 2\ \overline{CO}$$

Elle absorbe de l'énergie : elle est endothermique. En outre, une étude détaillée montre qu'elle est réversible, et il vaut mieux l'écrire:

$$C + CO_2 \rightleftharpoons 2\ \overline{CO} - \text{chaleur.} \qquad (3)$$

On peut donc essayer d'expliquer la combustion du carbone à température élevée de la manière suivante :

1. La combustion donne toujours du dioxyde de carbone suivant la réaction (1) :

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2 + \text{chaleur.}$$

2. Mais le dioxyde produit, circulant sur le carbone en excès, l'oxyde suivant la réaction (3) :

$$C + CO_2 \rightleftharpoons 2\ CO - \text{chaleur.}$$

3. Le bilan des deux réactions correspond à ce qui est effectivement observé. C'est la réaction (2) :

$$2C + O_2 \longrightarrow 2\ CO + \text{chaleur.}$$

Il n'est pas certain que se produisent effectivement des réactions successives, mais plusieurs faits viennent appuyer ces hypothèses:

- La formation de CO ne s'observe qu'à température élevée. C'est bien conforme à l'existence d'une étape intermédiaire réversible endothermique.

- Même à température élevée, il se forme toujours un peu de dioxyde de carbone, mais en quantité négligeable; on ne peut le mettre en évidence qu'après un certain temps. C'est bien conforme à l'existence d'une réaction réversible.

- Lorsque l'oxygène est en grand excès (ce qui ne se produit que rarement; lors de sa combustion, un solide est souvent en excès par rapport au gaz), la combustion du carbone fournit du dioxyde, quelle que soit la température; il est donc logique d'admettre que toute oxydation du carbone débute toujours par la réaction (1).

e) Application

La combustion du carbone est surtout utilisée pour le dégagement de chaleur qu'elle produit. On peut dire que jusqu'à l'apparition du pé-

trole c'était la seule source d'énergie pour l'homme (exceptée l'énergie musculaire, animale ou humaine).

En raison de la grande toxicité du monoxyde de carbone, il est dangereux d'utiliser un appareil de chauffage au charbon à température trop élevée (et inutile, puisque le dégagement de chaleur y est moins important qu'à plus basse température).

Remarque

Le monoxyde de carbone est un gaz combustible. Sa combustion avec flamme bleue peut être observée au-dessus d'un foyer où brûle du charbon avec un fort tirage : la température y est élevée, et il se forme du monoxyde qui se dégage et brûle à son tour.

On peut écrire le schéma de la réaction de combustion:

$$2CO + O_2 \longrightarrow 2CO_2 + \text{chaleur.}$$

Conclusion. Nous retiendrons les résultats suivants:

- À température inférieure à 500°C, la combustion du carbone fournit un dégagement de dioxyde CO_2.
- À température supérieure à 1000°C, la combustion du carbone fournit un dégagement de monoxyde CO.
- À température intermédiaire, la combustion du carbone fournit un mélange de monoxyde CO et de dioxyde CO_2.

La réduction du carbone.

Le carbone n'existe pas uniquement sous une forme oxydée. On le trouve aussi dans la nature sous des formes réduites, en combinaison avec l'hydrogène : ce sont tous les hydrures de carbone.

Le carbone peut se combiner directement avec l'hydrogène, à température élevée. Il peut se former par exemple de l'acétylène C_2H_2. Le plus souvent, la formation des hydrures de carbone a lieu de manière indirecte : fermentation de matières organiques. En raison de leur très grand nombre, l'étude de ces composés du carbone constitue une branche entière de la chimie : la chimie organique.

ANDRÉ CROS - INITIATION À LA CHIMIE MODERNE
Librairie Eugène Belin, Paris, 1968

Scanned with OKEN Scanner

LES ÉLÉMENTS CHIMIQUES ET LEURS SYMBOLES

Actinium	Ac	Francium	Fr	Polonium	Po
Aluminium	Al	Gadolinium	Gd	Potassium	K
Américium	Am	Gallium	Ga	Praséodyme	Pr
Antimoine	Sb	Germanium	Ge	Prométhium	Pm
Argent	Ag	Hafnium	Hf	Protactinium	Pa
Argon	Ar	Hélium	He	Radium	Ra
Arsenic	As	Holmium	Ho	Radon	Rn
Astate	At	Hydrogène	H	Rhénium	Re
Azote	N	Indium	In	Rhodium	Rh
Baryum	Ba	Iode	I	Rhuténium	Ru
Béryllium	Be	Iridium	Ir	Rubidium	Rb
Berkélium	Bk	Krypton	Kr	Samarium	Sm
Bismuth	Bi	Lanthane	La	Scandium	Sc
Bore	B	Lawrencium	Lw	Sélénium	Se
Brome	Br	Lithium	Li	Silicium	Si
Cadmium	Cd	Lutécium	Lu	Sodium	Na
Calcium	Ca	Magnésium	Mg	Soufre	S
Californium	Cf	Manganèse	Mn	Strontium	Sr
Carbone	C	Mendélévium	Md	Tantale	Ta
Cérium	Ce	Mercure	Hg	Technétium	Tc
Césium	Cs	Molybdène	Mo	Tellure	Te
Chlore	Cl	Néodyme	Nd	Terbium	Tb
Chrome	Cr	Néon	Ne	Thallium	Tl
Cobalt	Co	Neptunium	Np	Thorium	Th
Cuivre	Cu	Nickel	Ni	Thulium	Tm
Curium	Cm	Niobium	Nb	Titane	Ti
Dysprosium	Dy	Nobélium	No	Tungstène	W
Einsteinium	Es	Or	Au	Uranium	U
Erbium	Er	Osmium	Os	Vanadium	V
Étain	Sn	Oxygène	O	Xénon	Xe
Europium	Eu	Palladium	Pd	Ytterbium	Yb
Fer	Fe	Phosphore	P	Yttrium	Y
Fermium	Fm	Platine	Pt	Zinc	Zn
Fluor	F	Plomb	Pb	Zirconium	Zr
		Plutonium	Pu		

Scanned with OKEN Scanner

C H I M I E O R G A N I Q U E [x)]

Historique

Au début du XIX^{e} siècle, on appelait chimie organique l'étude des substances rencontrées généralement chez les êtres vivants, animaux ou végétaux. Les chimistes ne savaient pas en faire la synthèse ; ils pensaient que seuls les êtres vivants étaient capables de la réaliser au sein de leur organisme, et que cela était dû à une "force vitale" de nature inconnue.

Progressivement, la synthèse des composés organiques fut possible en laboratoire : ainsi, Wöhler réalisa en 1828 la première synthèse organique, celle de l'urée, corps jusqu'alors extrait de l'urine. Par la suite, surtout à partir de 1850, Berthelot réalisa la synthèse de nombreux autres corps organiques.

Définition de la chimie organique

De nos jours, on sait faire la synthèse de la plupart des substances extraites des êtres vivants, même parmi les plus compliquées. Tous les composés contiennent l'élément carbone : on considère donc que la chimie organique est la chimie des composés du carbone.

Toutefois, on doit faire quelques restrictions au sujet de cette définition. Certains composés carbonés se rencontrent couramment dans le règne minéral : les oxydes de carbone (monoxyde et dioxyde : CO et CO_2), les carbonates (composés ioniques contenant les ions carbonate CO_3^{2-} ou hydrogénocarbonate HCO_3^-), quelques carbures et cyanures. On les étudie traditionnellement en chimie minérale, mais ces composés sont peu nombreux et le champ très vaste de la chimie organique ne s'en trouve que très peu diminué.

---

x) Textes extraits du manuel de Cros, A. et Arrivet, G. "Initiation à la chimie moderne. Chimie organique" Librairie Classique Eugène Belin, Paris, 1970

CARACTÈRES DES SUBSTANCES ORGANIQUES

1. Toutes les substances organiques sont des corps composés contenant l'élément carbone.

2. Les substances organiques sont très nombreuses.

Elles constituent environ les 5/6 des corps purs composés! Certaines ont une formule moléculaire simple et peuvent être étudiées facilement. D'autres ont une formule compliquée, mais leurs propriétés présentent de grandes analogies avec celles de molécules plus simples; cela permet de les grouper en un nombre restreint de familles dans lesquelles les propriétés sont très voisines, ce qui en facilite considérablement l'étude.

3. Les substances organiques ne contiennent qu'un nombre restreint d'éléments.

Elles contiennent toujours du carbone (par définition) et peu d'autres éléments, ce qui peut sembler paradoxal lorsqu'on considère leur très grand nombre. Dans la plupart des cas, on rencontre de l'hydrogène et souvent de l'oxygène; assez fréquemment, de l'azote; plus rarement, quelques autres éléments : le chlore, le fluor, le brome, l'iode, le soufre, le phosphore, et parfois même des métaux (le magnésium notamment)

4. Les substances organiques sont peu stables thermiquement.

Alors que beaucoup de composés minéraux résistent à des températures élevées avant de se décomposer (eau, chlorure de sodium...), la plupart des composés organiques se décomposent par chauffage à des températures moderées : très peu résistent à plus de 400°C. Les substances les plus complexes sont en général les moins stables.

5. Les substances organiques ne sont généralement pas miscibles à l'eau.

Jusqu'à présent, la plupart des réactions chimiques étudiées avaient lieu en solution aqueuse. Il n'en sera pas de même en chimie organique. Cette différence est fondamentale, car elle traduit une différence de structure à l'échelle atomique : la plupart des composés minéraux ont une structure ionique en solution aqueuse; la plupart des composés organiques ont une structure moléculaire. Dans une molécule, les atomes sont unis par des liaisons de covalence, propriété due essentiellement à l'atome de carbone.

LES MOLÉCULES

Définition; généralités

Lorsque les atomes des éléments constituant un corps composé sont associés, ils peuvent former des ions ou des molécules.

Nous savons que la charge positive du noyau d'un atome est neutralisée par la charge négative de ses électrons. Quand deux atomes participent à un transfert d'électrons, ils deviennent des i o n s et possèdent une charge électrique globale : l'un d'eux cède un ou plusieurs électrons et devient un ion positif; l'autre capte un ou plusieurs électrons et devient un ion négatif. Tout composé ionique contient donc deux espèces d'ions de charge différente et reste électriquement neutre dans son ensemble.

Les atomes peuvent s'associer différemment et former des m o l é c u l e s. Ils s'unissent alors par mise en commun d'électrons. La particule qu'ils forment est un assemblage neutre : c'est une molécule. Dans un échantillon d'un corps pur, toutes les molécules sont identiques et é l e c t r i q u e m e n t n e u t r e s.

La formule moléculaire brute d'un corps composé

Nous avons souvent représenté la molécule d'un corps pur par une formule; il s'agissait de la formule brute dans laquelle les éléments constitutifs sont représentés par leur symbole affecté d'un indice égal au nombre d'atomes dans la molécule. Parmi les exemples les plus simples on peut citer : l'eau H_2O, le chlorure d'hydrogène HCl, l'ammoniac NH_3. Une telle formule est appelée parfois formule stoechiométrique. Sa connaissance fournit un certain nombre de renseignements sur le corps composé : elle indique la nature et les proportions des éléments qui le constituent.

La formule moléculaire développée; les isomères

Les isomères

Les propriétés d'un corps pur sont celles de l'édifice formé par les atomes; elles dépendent de la nature et du nombre de ces atomes, mais aussi de la structure de l'édifice lui-même : si les mêmes atomes en même nombre sont associés différemment, les édifices formés sont différents et les propriétés des corps purs obtenus ne sont pas les mêmes. Il importe de distinguer de tels corps.

Définition. On appelle isomères des corps purs dont les molécules sont formées des mêmes atomes, en nombres égaux, mais associés

différemment.

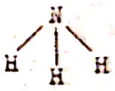
Deux isomères ont la même formule moléculaire brute; cependant leurs propriétés sont différentes.

L'isomérie est un phénomène particulièrement fréquent en chimie organique.

La formule moléculaire développée

Si l'on veut distinguer par l'écriture les molécules de deux isomères, on ne peut pas utiliser la formule brute. On utilise une formule développée : c'est une représentation de l'édifice atomique. Tous les atomes sont indiqués et les liaisons entre eux sont matérialisées par des tirets; comme l'édifice atomique occupe un certain volume, l'image plane que représente la formule développée n'est pas toujours une traduction fidèle de la réalité. En particulier, il y a des cas où une formule plane ne permet pas de représenter sans ambiguïté la molécule d'un corps; on doit alors dessiner une formule développée en perspective.

Exemples de formules développées. Parmi les exemples simples, on peut écrire les formules développées:

l'hydrogène : H — H, l'eau : l'ammoniac : 

La formule développée d'un corps pur donne les mêmes indications quantitatives que sa formule brute, mais elle donne aussi des indications qualitatives relatives à l'édifice.

LA CHIMIE ORGANIQUE ET LA LIAISON DE COVALENCE

L'atome de carbone

L'élément carbone est le sixième dans la Classification Périodique. Sa première couche électronique est saturée avec deux électrons, la seconde couche en contient seulement quatre : il lui en manque encore quatre pour être saturée. On pourrait penser que l'atome de carbone capte quatre électrons et se transforme ainsi en un ion négatif, ou, au contraire, qu'il cède quatre électrons et se transforme ainsi en un ion positif. Dans les deux cas, l'atome aurait acquis la structure électronique d'un gaz inerte. En réalité, l'expérience montre qu'il n'en est jamais ainsi et nous ne connaissons pas d'ions carbone positifs ou négatifs (le nombre d'électrons cédés ou captés serait trop élevé pour un atome léger). L'atome de carbone complète sa dernière couche électronique en mettant en commun avec d'autres atomes ses électrons périphériques, c'est-à-dire en s'unissant à eux par des liaisons de covalence.

Quelques liaisons de covalence simple avec l'atome de carbone

Parmi les différentes liaisons caractéristiques de l'atome de carbone, nous indiquerons les plus fréquentes :

La liaison carbone-hydrogène

Chaque atome d'hydrogène possède un seul électron périphérique; il peut être uni à un atome de carbone par une simple liaison de covalence. L'atome de carbone peut encore former trois autres liaisons puisqu'il possède encore trois électrons ne formant pas de paire. En particulier, il peut être uni à trois autres atomes d'hydrogène.

La liaison entre atomes de carbone

Deux atomes de carbone peuvent s'unir par une simple liaison;chaque atome peut encore participer à trois autres liaisons. Ce phénomène est d'une très grande importance car il constitue la cause principale de l'existence du très grand nombre des composés organiques : en effet, les atomes de carbone peuvent s'unir les uns aux autres, formant ainsi des édifices de grande dimension que l'on appelle c h a î n e s c a r b o n é e s . Suivant son emplacement dans une chaîne carbonée, un atome de carbone possède un, deux ou trois électrons libres lui permettant de participer à des liaisons de covalence avec d'autres atomes. Au total, chaque atome de carbone possède quatre liaisons de covalence simple.

Cette faculté de former des chaînes d'atomes par liaisons de covalence est caractéristique du carbone, et ne se retrouve pas, avec la même importance, dans le cas des autres éléments.

D'autres liaisons de covalence simple

Le carbone peut s'unir à d'autres atomes; parmi toutes les possibilités, nous citerons:

- la liaison avec un atome de chlore ou avec un atome d'un autre halogène;
- la liaison avec un atome d'oxygène. Dans ce cas-là, cet atome d'oxygène peut encore participer à une autre liaison (l'atome d'oxygène possède six électrons périphériques);
- la liaison avec un atome d'azote. Dans ce cas-là, cet atome d'azote peut encore participer à deux autres liaisons (l'atome d'azote possède cinq électrons périphériques).

Quelques liaisons multiples avec l'atome de carbone

L'atome de carbone peut être uni à d'autres atomes par mise en commun de plusieurs paires d'électrons : il s'agit de liaisons multiples.

Liaisons multiples entre atomes de carbone

Deux atomes de carbone peuvent être unis par une double liaison (mise en commun de deux paires d'électrons) ou une triple liaison (mise en commun de trois paires d'électrons).

Liaison double carbone-oxygène

Un atome de carbone peut être uni à un atome d'oxygène par une liaison double.

Liaison triple carbone-azote

On peut imaginer aussi une liaison triple par mise en commun de trois paires d'électrons entre un atome de carbone et un atome d'azote.

CONCLUSION GÉNÉRALE

1. La chimie organique est l'étude des composés carbonés.
2. Les composés carbonés ne renferment qu'un nombre restreint d'autres éléments.
3. Les composés organiques sont généralement peu stables.
4. Les composés organiques ne sont généralement pas solubles dans l'eau : ce sont des composés moléculaires.
5. Dans ces molécules, les atomes sont unis par des liaisons de covalence.

A.CROS et G.ARRIBET - INITIATION À LA CHIMIE MODERNE.CHIMIE ORGANIQUE, Librairie Classique Eugène Bélin, Paris, 197o

Scanned with OKEN Scanner

LES MÉCANISMES DES RÉACTIONS ORGANIQUES

La Thermodynamique et les réactions chimiques

Le problème de l'affinité est celui de la prévision du sens des réactions, n'utilisant que des données énergétiques il semble ne relever que de la Thermodynamique. Dans une transformation monotherme à volume constant d'un système, la Thermodynamique affirme que l'évolution du système s'effectue dans le sens qui correspond à une diminution de son énergie libre F, le terme de l'évolution coïncidant avec un minimum de cette énergie libre.

Cependant, nous savons que nombre de systèmes subsistent bien que leur énergie libre ne soit pas minimale, ils se trouvent dans un état d'équilibre métastable. Si donc la Thermodynamique est capable d'affirmer que telle réaction est impossible dans telles conditions déterminées, par contre elle ne peut affirmer que telle autre, "thermodynamiquement possible", se produira nécessairement.

Lorsque la Thermodynamique, "science exacte", est un guide sûr, elle s'appuie sur une bonne connaissance des enthalpies de réaction. Or les effets thermiques de la grande majorité des réactions organiques sont faibles et, pourtant, mesurables avec une médiocre précision, aussi les prévisions basées sur les seules données thermodynamiques sont-elles le plus souvent incertaines.

En résumé, la Thermodynamique classique, celle qui régit les phénomènes à l'échelle macroscopique, ne peut suffire à l'étude des processus chimiques.

Cinétique chimique, chimie structurale et mécanismes réactionnels.

La Cinétique chimique est la branche de la Chimie qui étudie les vitesses et les mécanismes des réactions. Tandis que la Thermodynamique ignore le facteur temps, l'expérience essentielle de la Cinétique chimique est l'étude chronométrique des transformations qui se produisent entre un état initial et un état final déterminés d'un système chimique.

Dans la très grande majorité des cas, les réactions sont complexes, l'équation stoechiométrique ne représentant qu'un bilan moléculaire comparatif des deux états extrémités d'une réaction. Le mécanisme d'une réaction globale comporte des réactions, ou actes élémentaires, qui se déroulent successivement ou simultanément (on dit aussi parallèlement).

Scanned with OKEN Scanner

Au cours de ces actes élémentaires interviennent non seulement les espèces initiales et finales mais également des entités chimiques transitoires, réactifs intermédiaires, en général peu stables mais qui n'en ont pas moins une existence réelle bien que leur durée de vie soit le plus souvent extrêmement courte. Ces édifices plus ou moins fugitifs sont des molécules, des atomes ou groupements d'atomes neutres ou porteurs d'une charge électrique.

La recherche d'un mécanisme nécessite une étude cinétique expérimentale conduisant à la connaissance de l'ordre (ou de l'absence d'ordre) de la réaction. Le résultat obtenu permet d'imaginer les mécanismes possibles; parmi ceux-ci le choix se fait, dans les cas les plus faciles, grâce à l'analyse du système en cours d'évolution par des méthodes physico-chimiques. Le plus fréquemment, les critères du choix tiennent compte de la structure électronique (architecture, liaisons,...) des réactifs initiaux et finaux, des réactifs intermédiaires, de même que de l'énergie (moléculaire, de liaison,...) du système en cours d'évolution.

En résumé, le chimiste accède aux mécanismes intimes des réactions grâce aux méthodes expérimentales physico-chimiques de la Cinétique et aux théories structurales et énergétiques.

Classification des coupures (ou ruptures)

Une coupure, ou rupture, est la scission d'une molécule en deux réactifs, elle affecte une liaison au cours d'un mécanisme réactionnel.

1° Coupure ionique

C'est la rupture d'une liaison ionique par fusion ou mise en solution dans un solvant polaire de permittivité relative élevée dont l'eau est le prototype. La coupure ionique est peu fréquente en Chimie organique puisque les composés du carbone ne comportent, le plus souvent, que des liaisons de covalence, lorsqu'elle se produit un des ions libérés est un "ion minéral". Donnons dès maintenant les principaux exemples:

Les acides carboxyliques, les phénols et leurs sels métalliques s'ionisent pour donner un cation minéral, métal ou hydronium et un anion à squelette organique dans lequel la charge négative est localisée sur un atome d'oxygène,

$$CH_3 - COO^-Na^+ \rightarrow CH_3 - COO^- + Na^+,$$

$$CH_3 - COO^-H^+ + H_2O \rightleftharpoons CH_3 - COO^- + H_3O^+,$$

$$C_6H_5 - OH + H_2O \rightleftharpoons C_6H_5 - O^- + H_3O^+.$$

Les amines en solution aqueuse, la méthylamine par exemple, contien-

nent l'anion hydroxyle OH^- et le cation alkylammonium (méthyl-ammonium dans le cas choisi), cation dont la charge positive est localisée sur l'atome d'azote,

$$CH_3 - NH_2 + H_2O \rightleftharpoons CH_3 - N^+H_3 + OH^-.$$

2° La coupure homolytique, ou radicalaire

Considérons la molécule organique A:B dans laquelle la liaison entre A et B est covalente. La coupure homolytique de cette liaison partage équitablement le doublet électronique de liaison au profit de A et de B, la rupture est donc symétrique au point de vue électronique.

$$A : B \rightarrow A\cdot + B\cdot,$$

ce que l'on écrit aussi

$$A - B \rightarrow A- + B-.$$

Cette coupure est encore dite radicalaire parce qu'elle donne deux radicaux, atomes ou groupes d'atomes, électriquement neutres et porteurs chacun d'un électron désapparié.

Le processus de la rupture homolytique est l'inverse de celui de la formation de la liaison atomique (liaison orientée alors que la liaison ionique ne l'est pas) par recouvrement axial de deux O.A. créateur de l'orbitale moléculaire de liaison. Il nécessite une certaine énergie (par exemple 98 kcal.mole^{-1} pour la liaison C — H), énergie d'origine calorifique ou lumineuse (action de photons).

La rupture homolytique se produit de préférence lorsque les deux radicaux sont identiques, dans les molécules homonucléaires H_2, Cl_2,... et dans les molécules symétriques comme l'éthane $CH_3 - CH_3$, ou encore dans des structures assez peu différentes comme dans celle du propane

$$H_3C:CH_2 - CH_3 \rightarrow \underset{\text{Méthyle}}{H_3C\cdot} + \underset{\text{Éthyle}}{\cdot CH_2 - CH_3}$$

Ceci revient à dire que cette coupure intervient particulièrement lorsque le moment dipolaire de la molécule est nul (liaison covalente pure) ou faible, autrement dit encore lorsque le caractère covalent de la liaison est prépondérant. Voici quelques exemples choisis parmi les plus simples:

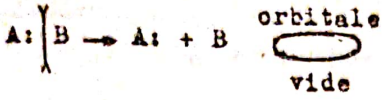
$$H:H \rightarrow 2H\cdot \qquad :\ddot{Cl}: \ddot{Cl}: \rightarrow 2 :\ddot{Cl}:$$

$$H_3C:CH_3 \rightarrow 2H_3C\cdot \qquad H :\overset{H}{\underset{H}{\ddot{C}}}: H \rightarrow H_3C\cdot + H\cdot$$

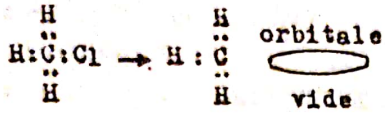
3° La coupure hétérolytique

C'est la plus fréquente, elle s'effectue d'une façon dissymétrique,

c'est- à-dire en respectant le doublet de liaison. Celui-ci reste attaché à une particule négative appelée carbanion libérant ainsi une particule positive appelée carbocation, ou ion carbonium:



, ou $A — B \rightarrow A^- + B^+$

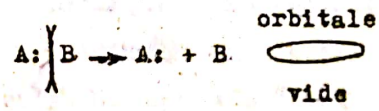


, ou $CH_3Cl \rightarrow H_3C^+ + Cl^-$,
Méthylcarbonium

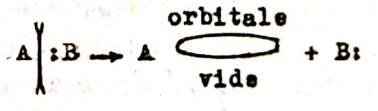
$H:C:::C:H \rightarrow H:C:::C: + H$, ou $HC \equiv CH \rightarrow HC \equiv C^- + H^+$.

Ces particules ne sont pas des ions au sens classique du mot. Leur formation nécessite l'action d'une énergie d'activation alors que l'ionisation se produit spontanément par fusion ou par dissolution d'un électrolyte; enfin sauf dans des cas exceptionnels leur durée de vie est extrêmement courte.

En principe une coupure hétérolytique d'une liaison déterminée peut se produire de deux façons distinctes lorsque la molécule AB n'est pas symétrique par rapport à cette liaison:



, ou $A — B \rightarrow A^- + B^+$,

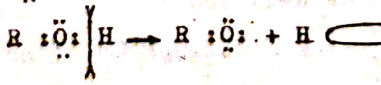


, ou $A — B \rightarrow A^+ + B^-$.

Un de ces modes de scission est favorisé par le sens de la polarisation, la molécule polaire de chlorure de méthyle $H_3C^+ — Cl^-$ se sépare en l'ion méthylcarbonium H_3C^+ et l'anion Cl^-.

Cependant le mode de coupure entre deux atomes dépend également du réactif sur lequel AB réagit, particulièrement lorsque la liaison n'est que faiblement ionique. Cette dernière influence détermine aussi quelquefois la liaison sujette à la rupture, par exemple pour les alcools les deux coupures hétérolytiques suivantes sont possibles:

, ou $R — O — H \rightarrow R^+ + OH^-$,

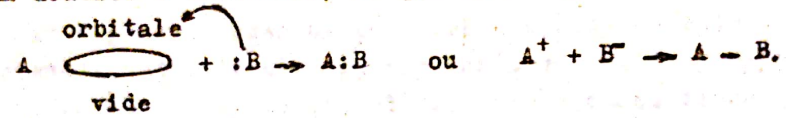


, ou $R — O — H \rightarrow RO^- + H^+$.

Réactifs nucléophiles et réactifs électrophiles. Acides et bases de Lewis

Reprenons la coupure hétérolytique qui libère deux particules transitoires de charges opposées, un ion carbonium, ou carbocation, et un carbanion.

Un ion carbonium, chargé positivement, possède un atome ayant une orbitale vide (une lacune de doublet), il a, de ce fait, tendance à s'associer, par création d'une liaison, à un carbanion, chargé négativement, qui lui présente un atome disposant d'une orbitale saturée, autrement dit d'un doublet d'électrons, ce que nous représentons par

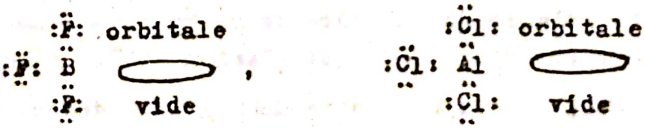


ou $A^+ + B^- \rightarrow A - B$.

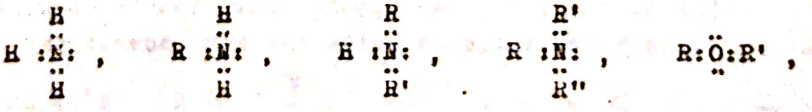
C'est le processus inverse de la coupure hétérolytique: création au lieu de rupture d'une liaison covalente. Alors que la rupture nécessite l'apport d'une énergie d'activation, la création libère une énergie égale à l'énergie de liaison.

Un carbocation, accepteur d'un doublet, est un réactif électrophile, un carbanion, donneur d'un doublet, est un réactif nucléophile.

Ces définitions se généralisent à des particules non chargées (molécules). Par exemple le fluorure de bore BF_3 et le chlorure d'aluminium $AlCl_3$ dont un atome, de bore et d'aluminium, est entouré d'un sextet, sont électrophiles parce que susceptibles de recevoir un doublet pour compléter le sextet à l'octet:

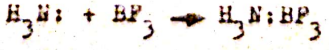


Par contre, l'ammoniac, les amines, les éthers-oxydes sont nucléophiles:



un éther-oxyde $R - O - R'$ disposant même de deux doublets.

On conçoit que deux réactifs neutres, l'un électrophile, l'autre nucléophile puissent réagir l'un sur l'autre par une réaction d'addition



Les notions d'électrophile et de nucléophile se rattachent à celles

d'acide et de base grâce à une généralisation due à Lewis.

En 1923, indépendamment l'un de l'autre, les chimistes danois J.N. Brönsted et anglais T.M. Lowry basèrent une théorie des réactions acide-base sur les définitions suivantes:

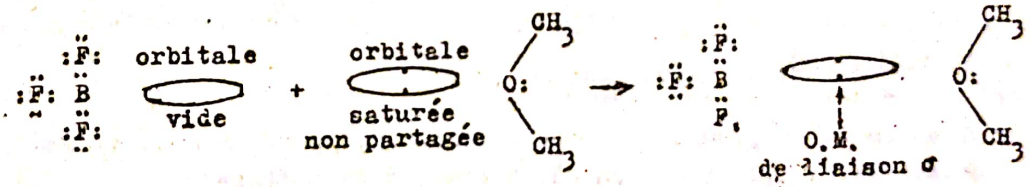
Un acide est un donneur de protons, une base est un accepteur de protons. Une réaction acide-base de Brönsted-Lowry consiste donc en un échange de protons.

Les définitions de Lewis sont encore plus générales:

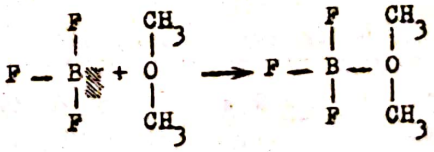
De nombreux composés que l'on ne considère pas habituellement comme des acides ont avec le proton H^+ la propriété commune de recevoir un doublet d'électrons. Pour Lewis ce sont des acides au même titre que H^+, il en est ainsi pour le fluorure de bore et le chlorure d'aluminium. Dès lors, une base de Lewis possède un doublet d'électrons non partagés, autrement dit une orbitale vide, qu'elle peut céder à un acide de Lewis pour former une liaison. Ainsi:

Un acide de Lewis, possesseur d'un atome accepteur d'un doublet, est un électrophile, une base de Lewis, contenant un atome donneur d'un doublet, est un nucléophile.

Par exemple la réaction d'addition du fluorure de bore et de l'oxyde de méthyle est une réaction acide-base de Lewis:



ou, plus simplement,



Classification des réactions

Différents critères permettent de classer les réactions. La classification ancienne, toujours commode, est fondée sur le bilan global représenté par l'équation de réaction, elle ignore le mécanisme des réactions.

Voici quels en sont les principaux groupes:

Réactions de destruction et de dégradation

Une molécule est profondément altérée par oxydation ou par action de la chaleur (pyrolyse). Exemples:

$$CH_4 + 2\ O_2 \rightarrow CO_2 + 2\ H_2O, \qquad CH_4 + 2\ Cl_2 \rightarrow 4\ HCl + C,$$

$$CH_3 - COOH \rightarrow CH_4 + CO_2.$$

Réactions d'addition

Deux molécules s'associent en une seule. Exemple: action du chlore sur l'éthylène,

$$H_2C = CH_2 + Cl_2 \rightarrow ClH_2C - CH_2Cl.$$

On range dans cette catégorie les polymérisations comme celle de l'acétylène en benzène

$$3\ HC \equiv CH \rightarrow C_6H_6\ ,$$

et celles qui conduisent à des macromolécules ce qui est le cas de la synthèse des polythènes à partir de l'éthylène

$$\ldots + CH_2 = CH_2 + CH_2 = CH_2 + \ldots$$

$$\rightarrow \ldots\ CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - \ldots$$

Réactions de substitution

Un atome ou un groupe d'atomes se substitue à un autre dans une molécule. Par exemple l'action du chlore sur le méthane,

$$CH_4 + Cl_2 \rightarrow CH_3Cl + HCl.$$

Réactions d'élimination et de condensation

Un composé en général minéral (eau, ammoniac, halogénure métallique) est éliminé entre deux ou plusieurs molécules (réactions de synthèse) ou à l'intérieur d'une molécule. Par exemple:

$$CH_3\boxed{\begin{matrix} I & + & I \\ Na & & Na \end{matrix}}CH_3 \rightarrow CH_3 - CH_3 + 2\ NaI,$$

$$H_2C\boxed{\begin{matrix} - & CH_2 \\ H & OH \end{matrix}} \rightarrow H_2C = CH_2 + H_2O$$

Des polycondensations conduisent à des composés macromoléculaires comme le nylon.

Réactions de réarrangement, ou de transposition

Une nouvelle molécule se forme par changement de la position d'atomes dans la molécule sans modification du nombre des différents atomes. Exemple:

$$R - CHOH \rightleftharpoons CH - R' \rightarrow R - CH_2 - \underset{\underset{O}{\|}}{C} - R'.$$

Énol (instable). Cétone (stable)

Réactions d'échange, ou de double décomposition

Elles sont de la forme

$$AB + CD \rightarrow AC + BD,$$

telle

$$CH_3 - COOC_2H_5 + NaOH \rightarrow CH_3 - COONa + C_2H_5OH.$$

Ce type de réaction est en fait très général puisqu'on peut lui rattacher certaines réactions des groupes précédents (réactions de substitution, d'élimination).

Le mécanisme des réactions est soit homolytique soit hétérolytique (électrophile ou nucléophile). Il existe ainsi des substitutions radicalaires, des substitutions électrophiles et des substitutions nucléophiles, il y a donc un grand nombre de cas si l'on se place au point de vue du mécanisme de réaction.

G. DEVORÉ - Cours de chimie. Chimie organique, Paris, Librairie Vuibert, 1971

PROBLEMES DE CHIMIE

-o- On réalise dans une éprouvette l'oxydation lente du fer par l'oxygène pur (rouille). On a utilisé 1 g de limaille de fer. Quel doit être le volume d'oxygène pour que l'attaque du fer soit complète et qu'il reste encore 4o cm^3 de gaz?

-o- Le butane, le propane, le méthane et l'acétylène sont des gaz dont la molécule a pour formule respectivement: C_4H_{1o}; C_3H_8; CH_4; C_2H_2. Ils sont utilisés comme combustibles. Lorsque la combustion est complète, elle donne naissance à du dioxyde de carbone et à de l'eau (vapeur d'eau). Écrire les schémas des réactions de combustion vive.

-o- Un tube de volume 15 litres renferme de l'oxygène sous une pression de 2oo atmosphères. La masse volumique du gaz comprimé est égale à 286 kg/m^3.

Quel est le volume d'air nécessaire pour la préparation de cet oxygène? (Le volume d'air est mesuré dans les conditions normales.)

-o- Si on prépare de l'hydrogène en utilisant 25o g de zinc et une solution sulfurique contenant 25o g d'acide pur, que reste-t-il lorsque la réaction est terminée?

Quelle est la masse de sulfate de zinc que l'on peut espérer isoler par distillation? Quel a été le volume d'hydrogène dégagé?

-o- On prépare une solution d'acide chlorhydrique en dissolvant 5o litres de chlorure d'hydrogène gazeux dans de l'eau et on l'utilise, par réaction sur du fer, pour la préparation d'hydrogène.

Quel volume d'hydrogène peut-on espérer obtenir? Quelle quantité de fer sera alors consommée?

-o- Un minerai de fer contient l'oxyde Fe_2O_3 comme élément actif, à raison de 6o % en masse. Quelle la teneur en fer de ce minerai?

On se propose de le réduire à l'état de métal. On pense utiliser pour cela de l'hydrogène gazeux à température élevée. Écrire le schéma de la réaction chimique correspondante.

Le rendement de la réaction est 7o % (70 % seulement de l'hydrogène utilisé sert effectivement dans la réaction). Quelle quantité d'hydrogène doit-on utiliser pour traiter une tonne de minerai?

Scanned with OKEN Scanner

-o- L'oxygène, le chlore, l'hydrogène forment en s'associant simultanément des molécules de formules $HClO$, $HClO_2$, $HClO_3$, $HClO_4$. Expliquer la formation des deux dernières. Écrire leur représentation schématique. Peut-il exister d'autres corps formés par l'association de ces trois éléments?

-o- L'ammoniac liquide pur peut-il renfermer des ions(comme l'eau)? Dans l'affirmative, quels sont ces ions?

-o- Un bassin de marais salant est un carré de côté 1ooo m. Il est rempli d'eau de mer (à 39 g/litre de sels divers, dont 3o g/litre de chlorure de sodium) sur une hauteur de 3o cm. Quelle quantité de chlorure de sodium peut-on extraire?

-o- On électrolyse une solution aqueuse de chlorure de sodium dans le but d'obtenir du chlore. Avec une tonne de chlorure de sodium, combien peut-on obtenir de chlore (volume mesuré dans les conditions normales)?

En même temps que l'on prépare du chlore, on recueille un dégagement gazeux d'hydrogène. On peut ensuite, par évaporation et fusion, séparer la soude du chlorure de sodium qui n'a pas subi l'électrolyse. La soude fond à 31o°C. Comment peut-on effectuer la séparation?

Quelle est la masse de soude obtenue, et quel est le volume d'hydrogène,mesuré dans les conditions normales, dégagé par tonne de chlore?

-o- Représenter la structure électronique:
- des atomes d'hydrogène, de fluor et de soufre;
- des molécules de fluorure d'hydrogène et de sulfure d'hydrogène.

-o- Écrire les formules développées planes des composés de formules moléculaires brutes: CH_4, CH_4O, C_2H_6.

-o- La combustion complète de 1o cm^3 d'un composé ne comportant que du carbone et de l'hydrogène, nécessite 5o cm^3 d'oxygène et produit 3o cm^3 de dioxyde de carbone et de l'eau.

Quelle est sa formule moléculaire brute?

Quelle est sa formule développée plane?

-o- L'analyse élémentaire d'un composé organique indique qu'il est formé, en masse, de 4o % de carbone, de 6,7 % d'hydrogène et de 53,3 % d'oxygène.

Sachant que la masse molaire de ce composé est voisine de 6o g, trouver sa formule moléculaire brute.

VOCABULAR GENERAL DE ORIENTARE STIINTIFICA *)

FRANCEZ - ROMÂN

- A -

À DROITE - la dreapta
À GAUCHE - la stînga
À L'AIDE DE - cu ajutorul
À L'ÉTAT DE - în stare de
À L'INTÉRIEUR DE - în interiorul
À LA FOIS - deodată,în acelaşi timp
À PARTIR DE - începînd de la,din...; pornind de la
À PEU PRÈS - circa, aproximativ
À ... PRÈS - cu aproximaţie de
(À 1 mm PRÈS - cu aproximaţie de 1 mm)
ABAISSER (S') - a coborî,a scădea (vorbind despre temperatură,de ex.)
ABANDONNER - a abandona, a părăsi,a renunţa
ABONDANT - abundent,bogat
ABOUTIR À - 1.a ajunge la, a atinge 2.(fig.) a tinde(spre), a duce la
ABSCISSE - abscisă
ABSOLU - absolut
ABSORBER - a absorbi
ACCÉLÉRATION - acceleraţie
ACCÉLÉRATION ANGULAIRE - acceleraţie unghiulară
ACCÉLÉRER (S') - a accelera,a grăbi,a activa
ACCOMPAGNER /(S')ACCOMPAGNER DE - a însoţi,a întovărăşi / a se însoţi,a se întovărăşi(cu)
ACCROISSEMENT - creştere,mărire,sporire,înmulţire
ACCUMULER (S') - a (se) acumula
ACHEVER (S') / (S')ACHEVER PAR - a termina,a încheia; a desăvîrşi / a se încheia cu/prin
ACIDE - acid (subst.şi adj.)
ACIDE SULFURIQUE - acid sulfuric
ACIER - oţel
ACQUÉRIR - a dobîndi, a obţine
ACTION - acţiune (SOUS L'ACTION DE- sub acţiunea...)
ACTIVITÉ - activitate
ACTUEL - actual; prezent,de actualitate
ACTUELLEMENT - actualmente,în momentul de faţă,în prezent, acum
ADDITION - 1.adunare,adiţionare; 2. adăugare
ADMETTRE (QUE) - a admite
ADMIS - admis
ADMETTANT - admiţînd
AGIR - a acţiona
S'AGIR DE (vezi IL S'AGIT DE)
AIGUILLE - ac (de aparat sau de instrument)
AIGUILLE AIMANTÉE - ac magnetizat
AINSI - astfel,aşa; deci,aşadar, în consecinţă
AINSI QUE - ca şi; (aşa) cum,(după)cum
AIR - aer
AIR LIQUIDE - aer lichid
AIRE - arie, suprafaţă
AJOUTER (S') /(S')AJOUTER À - a (se) adăuga / a (se) adăuga la
ALCOOL - alcool
ALCOOL ÉTHYLIQUE - alcool etilic
ALGÉBRIQUE - algebric
ALIGNER (S') / (S')ALIGNER SUR - a (se) alinia, a (se) înşirui
ALIMENT - aliment, hrană
ALIMENTER (EN) - a aproviziona, a alimenta cu ; a hrăni, a alimenta
ALIMENTER EN COURANT, EN ÉNERGIE- a alimenta cu curent, cu energie
ALLONGEMENT - lungire, alungire
ALLONGER (S') - a (se) lungi
ALORS (QUE) - atunci (cînd)
ALORS QUE - pe cînd, în timp ce
ALTITUDE - altitudine,înălţime
ALUMINIUM - aluminiu (CHLORURE D'ALUMINIUM - clorură de aluminiu)
AMENER - a aduce (cu sine)
AMENER À - a determina să
AMPLITUDE - amplitudine
ANALOGUE(À)- analog(cu)
ANALYSE - analiză
ANCIEN - vechi,străvechi,antic,de demult; fost
ANGLE - unghi
ANGLE DROIT - unghi drept
À ANGLE DROIT - cu unghi drept

*) Acest vocabular constituie transcrierea şi traducerea în limba română a termenilor cuprinşi în "VOCABULAIRE GÉNÉRAL D'ORIENTATION SCIENTIFIQUE", publicat de CEDIC, Paris 1971. În cazurile de polisemie, am reţinut sensul sau sensurile indicate în VGOS drept cele mai frecvente

ANGULAIRE - unghiular (COEFFICIENT ANGULAIRE - coeficient unghiular)
ANIMER (S') - a (se) însufleţi, a se înviora
ANNEAU - inel
ANNULER (S') - a anula, a suprima
ANTÉRIEUR (À) - anterior (faţă de), precedent
APPARAÎTRE - a apărea, a se arăta, a se manifesta
APPAREIL - aparat
APPARENT - aparent, clar, vizibil, vădit, evident
APPARTENIR À - a aparţine
APPARTENANT - aparţinînd
APPELER (S') - a (se) numi, a (se) chema, a denumi
APPELÉ - numit
APPLICATION (d'une loi, d'un principe etc.) - aplicare (a unei legi, a unui principiu etc.)
APPLIQUER (S') / (S')APPLIQUER À - a aplica, a pune în practică / a se aplica, a se potrivi la/cu
APPORTER - a aduce (abstr.: APPORTER UN CHANGEMENT - a aduce o schimbare)
APPROCHER / (S')APPROCHER DE - a apropia / a (se) apropia de, a avansa spre
APPROCHÉ - aproximativ, apropiat (vorbind de o valoare, de exemplu)
APPROCHANT - aproximativ, circa (vorbind de un rezultat, de exemplu)
APRÈS (QUE) - după (ce), la sfîrşitul; mai departe de, dincolo de
ARC - arc
ARC DE CERCLE - arc de cerc
ARÊTE - linie de intersecţie a două planuri, a două suprafeţe, muchie
ARGENT - argint
ARRÊTER (S') - a (se) opri, a (se) întrerupe
ARRIVER À - a reuşi (să), a ajunge (la), a atinge, a parveni (să); a veni, a se produce, a surveni
ASPECT - aspect, înfăţişare
ASSEZ (DE) - destul, de ajuns, suficient
ASSOCIER (S') / (S')ASSOCIER À, AVEC - a asocia, a face legătură / a se asocia, a participa (la), a se întovărăşi, a se uni (cu)
ASSURER - a afirma, a asigura
ATMOSPHÈRE - atmosferă
ATMOSPHÉRIQUE - atmosferic (PRESSION ATMOSPHÉRIQUE - presiune atmosferică)
ATOME - atom
ATOMIQUE - atomic (NOMBRE ATOMIQUE - număr atomic)
ATTAQUER - a ataca, a coroda ("Le métal est attaqué par l'acide" - Metalul este atacat de acid)
ATTEINDRE - a atinge, a ajunge, a parveni să...
ATTEINT - atins
ATTIRER (S') - a atrage, a provoca, a cauza; a se atrage
ATTRACTION - atracţie
ATTRIBUER À - a atribui, a acorda
AU BOUT DE - după; la capătul, la extremitatea a...
AU CONTRAIRE (DE) - dimpotrivă, din contră; împotriva...
AU COURS DE - în cursul
AU-DESSOUS (DE) - sub
AU-DESSUS (DE) - deasupra, peste, mai sus
AU LIEU DE - în locul..., în loc să...
AU MOINS - cel puţin
AU MOMENT DE - în clipa cînd
AU NIVEAU DE - la nivelul
AU VOISINAGE DE - în vecinătatea, în apropierea
AUCUN - nici un
AUGMENTATION - creştere, sporire, mărire
AUGMENTER - a creşte, a spori, a mări; a (se) amplifica, a (se) întinde
AUSSI / AUSSI...QUE - la fel de, tot atît de
AUTOUR DE - împrejur, în jur; circa, aproximativ
AUTRE - alt, celălalt
AUTREMENT DIT - altfel spus
AVANT (DE/QUE) - înainte (de/să)
AVOIR LIEU - a avea loc
AXE - axă
AXE DE SYMÉTRIE - axă de simetrie
AZOTE - azot

- B -

BAS - jos, scund
BASE - bază (geometrie)
BASE - bază (chimie)
BASE (d'un système, d'un calcul) - bază, temei, element fundamental, principiu, premisă
BEAUCOUP (DE) - mult
BESOIN - nevoie, trebuinţă, necesitate (AVOIR BESOIN DE - a avea nevoie de)
BIEN - bine
BIEN QUE - deşi, cu toate că
BISSECTRICE - bisectoare
BLANC - alb (GLOBULE BLANC - globulă albă)
BLEU - albastru (BLEU DE MÉTHYLÈNE - albastru de metilen)
BLOC - bloc; teanc, grămadă
BOIS - lemn
BON - bun, de calitate
BORD - margine, borduri, ţărm

BORNE (d'appareil électrique) - bornă (de aparat electric)
BRILLANT - strălucitor, sclipitor
BRUN - brun, cafeniu închis
BRUT - brut, neprelucrat

- C -

C'EST-À-DIRE (QUE) - adică
CALCAIRE - calcar, piatră de var ; calcaros (ROCHE CALCAIRE rocă calcaroasă)
CALCIUM - calciu
CALCUL - calcul
CALCUL ALGÉBRIQUE - calcul algebric
CALCULER (SE) - a (se) calcula, a socoti ; a aprecia, a evalua
CANAL - canal, conductă
CAPABLE DE - capabil să, în stare să/de
CAR - căci, deoarece, fiindcă
CARACTÈRE - caracter, trăsătură caracteristică
CARACTÈRE HÉRÉDITAIRE - caracter ereditar
CARACTÉRISER / (SE) CARACTÉRISER PAR - a (se) caracteriza, a(se)defini, a(se)distinge, a(se)preciza, a(se)specifica
CARACTÉRISÉ PAR - caracterizat prin
CARACTÉRISTIQUE - caracteristic, determinant, specific, tipic
CARBONE - carbon
CARRÉ - pătrat (puterea a doua; figura geometrică)
CAS - caz; împrejurare, circumstanţă, situaţie (DANS CE CAS - în acest caz)
CAS PARTICULIER - caz particular
CATÉGORIE - categorie, grup, clasă
CAUSE - cauză, motiv, pricină (À CAUSE DE - din cauza, din pricina)
CELLULE - celulă
CELLULE NERVEUSE - celulă nervoasă
CENTRAL - central, la centru, în centru ; principal, capital
CENTRE - centru
CENTRE DE GRAVITÉ - centru de gravitaţie
CEPENDANT - totuşi, cu toate acestea; dar
CERCLE - cerc
CERCLE CIRCONSCRIT - cerc circumscris
CERTAIN - anumit, oarecare, sigur
CHACUN - fiecare
CHAÎNE - lanţ, serie (RÉACTION EN CHAÎNE - reacţie în lanţ)
CHALEUR - căldură
CHAMP - cîmp
CHAMP MAGNÉTIQUE - cîmp magnetic
CHANGEMENT - schimbare, modificare
CHANGER (DE) - a schimba
CHAQUE - fiecare
CHAUD - cald (À CHAUD - la cald)
CHAUFFER - a încălzi
CHAUX - var, oxid de calciu (EAU DE CHAUX - apă de var)
CHERCHER - a căuta, a cerceta
CHEZ - la
CHIFFRE - cifră
CHIMIQUE - chimic (PROPRIÉTÉS CHIMIQUES - proprietăţi chimice)
CHLORE - clor
CHLORURE - clorură
CHLORURE DE SODIUM - clorură de sodiu
CHOC - şoc, lovitură, ciocnire
CHOISIR - a alege, a opta ; a selecta, a selecţiona, a tria
CHUTE - cădere
CIRCONFÉRENCE - circumferinţă; cerc; perimetrul cercului
CIRCONSCRIRE - a circumscrie
CIRCONSCRIT - circumscris
CIRCUIT - circuit ; circumferinţă
CIRCULAIRE - circular (FONCTION CIRCULAIRE - funcţie circulară, trigonometrică)
CLAIR - clar, transparent; despre culori: deschis ; diluat, puţin consistent
CLASSE - clasă, categorie
CLASSER / (SE) CLASSER DANS, EN, PAR, etc. - a clasifica / a (se) clasifica în, după etc.
CLASSIFICATION - clasificare
COEFFICIENT - coeficient
COEFFICIENT DE DILATATION - coeficient de dilatare
COÏNCIDER (AVEC) - a coincide, a corespunde cu
COLORATION - colorare, coloraţie
COLORER (SE) - a (se) colora
COMBIEN (DE) - cît, în ce măsură
COMBINAISON - combinare, îmbinare, combinaţie
COMBINER (SE) / (SE) COMBINER À, AVEC - a (se) combina, a se îmbina / a (se) uni cu
COMBUSTION - combustie, ardere
COMBUSTION VIVE - ardere vie
PAR COMBUSTION - prin ardere
COMME - ca; cum, aşa cum , după cum; întrucît, deoarece
COMMENCER - a începe, a porni (să)
COMMENT - cum, în ce fel, în ce mod
COMMUN (À) - comun, general
COMMUTATIVITÉ - comutativitate
COMPARAISON - comparaţie, comparare
COMPARER (SE) / (SE) COMPARER À, AVEC - a (se) compara, a confrunta
COMPARÉ À - comparat cu
COMPLET - complet, desăvîrşit, întreg
COMPLÈTEMENT - completamente, cu totul, în întregime

COMPLÉTER (SE) / (SE) COMPLÉTER DE, PAR - a (se) completa,a(se)întregi
COMPLEXE - complex ; (chim.): combinaţie complexă
COMPORTER - a comporta,a permite,a admite ; a conţine,a cuprinde, a prezenta
COMPORTANT - comportînd,permiţînd, admiţînd etc.
COMPOSANTE - componentă
COMPOSÉ - (corp) compus
SE COMPOSER DE - a se compune,a se alcătui din
COMPOSITION - compunere, alcătuire, îmbinare
COMPRENDRE - a cuprinde ; a înţelege
COMPRENANT - cuprinzînd
COMPRIS (DANS/ENTRE) - cuprins în/ între
COMPRENDRE (SE) - a (se) înţelege
COMPTER - a număra,a socoti,a calcula
CONCENTRATION - concentraţie
CONCENTRER (SE) - a (se) concentra
CONCLURE (QUE) / EN CONCLURE QUE - a conchide, a trage concluzia
CONCLUSION - concluzie
CONDITION - condiţie (À (LA) CONDITION DE/QUE - cu condiţia de/să)
CONDUIRE À - a conduce la
CÔNE - con
CONFONDRE (SE) - a se confunda(vorbind de două drepte,de exemplu)
CONFONDU - confundat
CONJUGUÉ - unit, legat ; îmbinat , împletit (POINTS CONJUGUÉS -puncte unite)
CONNAÎTRE - a cunoaşte ; a şti ; a admite, a accepta
CONNU - cunoscut
CONSÉCUTIF - consecutiv, în şir , succesiv
CONSÉQUENCE - consecinţă, urmare , rezultat
CONSERVER (SE) - a (se) păstra
CONSIDÉRABLE - considerabil,însemnat, remarcabil
CONSIDÉRER (QUE) - a considera, a cerceta, a lua în considerare, a examina
CONSIDÉRÉ - considerat,examinat
CONSOMMER - a consuma, a folosi, a întrebuinţa
CONSTAMMENT - în mod constant,continuu, fără întrerupere
CONSTANT - constant,neschimbat,invariabil
CONSTANTE - constantă
CONSTATER (QUE) - a constata,a stabili,a demonstra,a remarca,a observa
CONSTITUANT - constituent,component
CONSTITUER - a constitui, a forma, a alcătui
CONSTITUÉ DE - constituit din
CONSTRUCTION - construcţie,construire (la construction d'un triangle - construirea unui triunghi)
CONSTRUIRE (SE) - a (se) construi
CONTACT - contact
CONTENIR - a conţine,a cuprinde,a îngloba
CONTENU (DANS) - conţinut (în)
CONTINU - continuu,neîntrerupt, neîncetat (COURANT CONTINU - curent continuu)
CONTINUER (À/DE) - a continua, a nu înceta (să), a persevera,a persista (în)
CONTRAIRE (À) - contrar, opus
CONTRE - contra ; în sens contrar
CONVENABLE - convenabil; cuvenit; oportun, potrivit
CONVENIR DE/QUE - a conveni, a stabili, a hotărî să
CONVENIR - a conveni, a accepta,a se înţelege
CONVENTION - convenţie,înţelegere
CONVEXE - convex QUADRILATÈRE CONVEXE - patrulater convex)
COORDONNÉE(S) - coordonată (e)
CORDE - coardă (mat.)
CORPS - corp, substanţă
CORPS SIMPLE - corp simplu,element
CORPS - corp, trup
CORRESPONDANCE (entre des phénomènes,par exemple) - corespondenţă, legătură, raport, relaţie ; analogie ; concordanţă, armonie
CORRESPONDANT - corespondent,corespunzător
CORRESPONDRE (SE) / CORRESPONDRE À - a corespunde, a fi conform cu, a se potrivi cu
CORRESPONDANT (À) -corespunzînd
CÔTÉ - latură, parte
CÔTÉ - (în expr.): À CÔTÉ DE -lîngă, aproape de ; DE CE CÔTÉ - în această parte
COUCHE - strat
COULEUR - culoare
COUPE - tăiere, secţiune
COUPER (SE) - a tăia, a se tăia,a se întretăia, a se intersecta, a se încrucişa
COUPLE - cuplu, pereche
COURANT - curent
COURANT ÉLECTRIQUE - curent electric
COURANT (D'UN FLUIDE) - curent(al unui fluid)
COURBE - curbă
COURBE REPRÉSENTATIVE - curbă reprezentativă
COURT - scurt
CRISTAL - cristal (CRISTAUX -pl.)
CRISTALLISER (SE) - a (se) cristaliza, a se transforma în cristale
CROISSANCE - creştere,dezvoltare

CROISSANT - crescător, care creşte, care se dezvoltă (progresiv)
CROÎTRE - a creşte
CUIVRE - cupru
CYCLE - ciclu, perioadă
CYLINDRE - cilindru
CYLINDRIQUE - cilindric

- D -

D'ABORD - mai întîi
D'AILLEURS - de altfel
D'APRÈS - după, conform cu
D'AUTRE PART - pe de altă parte
(D'UNE PART...D'AUTRE PART - pe de o parte...pe de altă parte)
D'OÙ - de unde (consecinţă)
DANS CE CAS - în acest caz
DANS LE CAS DE - în cazul
DE FAÇON QUE - astfel, încît
DE L'ORDRE DE - de ordinul...
DE MÊME - la fel, identic, aidoma
DE PLUS (QUE) - în plus
DE PLUS EN PLUS - din ce în ce mai mult
DE SORTE QUE - astfel, încît
DÉCOMPOSER (SE) / (SE) DÉCOMPOSER EN - a (se) descompune (în)
DÉCOMPOSÉ - descompus
DÉCOMPOSITION - descompunere
DÉCOUVRIR - a descoperi
DÉCRIRE - a descrie, a trasa
DÉCRIRE UNE COURBE - a descrie o curbă
DÉCRIT - descris
DÉCRIRE - a descrie, a face o descriere
DÉCROISSANT - descrescător, care descreşte
DÉCROÎTRE - a descreşte
DÉDUIRE / (SE) DÉDUIRE DE / EN DÉDUIRE (QUE) - a (se) deduce
DÉFINIR / (SE) DÉFINIR PAR, PAR RAPPORT À - a (se) defini prin, în raport cu
DÉFINI - definit
DÉFINITION - definiţie
DÉGAGEMENT (d'un gaz, par ex.) - degajare (a unui gaz, de exemplu)
DÉGAGER (SE) - a (se) degaja
DÉGAGER (DE) - a degaja, a elibera
DEGRÉ - grad
DEGRÉ D'OXYDATION - grad de oxidare
DÉJÀ - deja, încă de pe (acum, atunci) ; mai dinainte
DEMANDER - a cere; a întreba; a pretinde
DEMEURER - a rămîne
DEMI-CERCLE - semicerc
DEMI-DROITE - semidreaptă
DÉMONSTRATION - demonstraţie
DÉMONTRER - a demonstra
DÉMONTRÉ - demonstrat
DENSITÉ - densitate
DÉPART - plecare (POINT DE DÉPART - punct de plecare)
DÉPASSER - a depăşi, a întrece
DÉPENDRE DE - a depinde, a fi în funcţie de ; a rezulta, a decurge din
DÉPLACEMENT - deplasare
DÉPLACER (SE) - a (se) deplasa, a (se) mişca din loc , a (se)muta
DÉPÔT - depunere ; depozit, depuneri, reziduuri, sedimente
DEPUIS - începînd de la, cu începere de la, de la ; de ; din acel moment, de atunci
DÉRIVÉE - derivată (mat.)
DÈS (QUE) - încă din; încă de, chiar de ; încă de la, chiar de la ; îndată ce
DÉSIGNER / (SE) DÉSIGNER PAR - a desemna, a indica, a specifica
DÉTERMINATION - determinare; stabilire; precizare; fixare
DÉTERMINER / (SE) DÉTERMINER PAR - a determina; a stabili; a preciza; a fixa
DÉTRUIRE (SE) - a (se) distruge, a nimici
DEVANT - în faţă; faţă de ; înainte
DÉVELOPPEMENT - desfăşurare, dezvoltare
SE DÉVELOPPER - a se desfăşura, a se dezvolta
DEVENIR - a deveni, a se transforma, a se preface
DEVOIR - a trebui (1.obligaţie; 2.eventualitate); a (se) datora
DIAGONALE - diagonală
DIAGRAMME - diagramă
DIAMÈTRE - diametru
DIÈDRE - diedru
DIFFÉRENCE - diferenţă, deosebire
DIFFÉRENCE DE POTENTIEL - diferenţă de potenţial
DIFFÉRENT (DE) - diferit, deosebit, distinct
DIFFÉRER (DE) - a diferi, a se deosebi
DIMENSION - dimensiune
DIMINUER - a diminua, a scădea, a (se) micşora
DIRECT - direct, drept, fără ocol
DIRECTEMENT - direct, de-a dreptul, drept
DIRECTION - direcţie, orientare (în spaţiu)
DIRIGER (SE) / (SE) DIRIGER VERS - a (se) îndrepta, a (se) dirija spre
DISCUSSION - discuţie
DISCUTER - a discuta ; a examina, a studia, a analiza
DISPARAÎTRE - a dispărea
DISPOSER (SE) - a (se)plasa, a (se)aşeza

DISPOSITIF - dispozitiv
DISPOSITION - dispoziţie,distribuire,dispunere,aşezare,aranjament
DISQUE - disc
DISSOUDRE (SE) - a (se) dizolva
DISTANCE - distanţă,depărtare
DISTANCE FOCALE - distanţă focală
DISTINCT - distinct,deosebit ; clar, precis
DISTINGUER (SE) / (SE) DISTINGUER DE - a distinge,a face distincţie, a deosebi / a se distinge
DIVERS - divers,diferit,variat ; pl.precedînd substantivul : unii , anumiţi
DIVISER (SE) / (SE) DIVISER EN - a (se) împărţi, a (se) divide în
DIVISIBLE - divizibil
DIVISION - divizare, diviziune,împărţire
DIZAINE - grup de (vreo) zece;zeci
DONC - deci, aşadar, prin urmare
DONNÉE (d'un problème,par exemple) - dată (a unei probleme,de ex.)
DONNER - a da ; a avea ca rezultat
DONNÉ - dat, determinat
DOUBLE - dublu
DROIT - drept, direct, rectiliniu (ANGLE DROIT - unghi drept)
DROITE - dreaptă,linie dreaptă ; partea dreaptă (À DROITE - la dreapta)
DUR - tare, dur, aspru
DURÉE - durată

- E -

EAU - apă
EAU DOUCE - apă dulce
ÉCARTER (S') / (S')ÉCARTER DE - a îndepărta, a distanţa / a (se) îndepărta, a (se) abate
ÉCHANGE - schimb
ÉCHELLE - scară (a unui grafic,a unei hărţi)
ÉCRIRE (S') - a scrie, a(se)înscrie a se scrie, a nota, a formula
EFFECTUER - a efectua,a executa, a face, a realiza
EFFECTUER UN CALCUL - a efectua un calcul
EFFET - efect; rezultat,urmare,consecinţă
EFFET JOULE - efect Joule
EFFICACE - eficace
ÉGAL - egal, uniform, constant
ÉGALEMENT - 1.la fel(de),deopotrivă, în acelaşi fel ; 2. şi, de asemenea
ÉGALITÉ - egalitate
ÉLASTIQUE - elastic (adj.)
ÉLECTRICITÉ - electricitate
ÉLECTRIQUE - electric

ÉLÉMENT - element,parte componentă ; element chimic
ÉLEVER (S') - a (se) ridica (vorbind despre temperatură,de exemplu
ÉLIMINER (S') - a (se) elimina, a înlătura, a scoate
ÉLOIGNER (S') / (S')ÉLOIGNER DE - a (în)depărta / a (se) (în)depărta
ÉMETTRE - a emite
EMPLOI - întrebuinţare,folosire , utilizare
EMPLOYER (S') - a (se) întrebuinţa, a (se) folosi, a (se) utiliza
EN EFFET - într-adevăr, efectiv
EN FONCTION DE - în funcţie de
EN GÉNÉRAL - în general
EN MÊME TEMPS (QUE) - în acelaşi timp
EN OUTRE - în plus, mai mult
EN PARTICULIER - în particular , în special, mai ales, îndeosebi
EN PRÉSENCE DE - în prezenţa
ENCORE - încă, mai, din nou
ÉNERGIE - energie
ÉNERGIE CINÉTIQUE - energie cinetică
ENFIN - 1. în fine,în sfîrşit ; 2. în concluzie, pe scurt
ENGENDRER - a genera (mat.: engendrer une figure - a genera o figură)
ENLEVER (S') - a ridica, a lua, a deplasa, a muta(un obiect) ; a se înălţa ; a se desface,a se detaşa; a se scoate, a se lua, a se şterge
ÉNONCER (S') - a (se) enunţa, a (se) exprima, a (se) formula
ÉNONCÉ - enunţ, enunţare
ENSEMBLE - ansamblu; totalitate ; mulţime(mat.)
ENSUITE - apoi, după aceea
ENTIER - întreg, total, deplin ; mat.(subst.masc.): număr întreg
ENTIÈREMENT - în întregime, cu totul, complet
ENTOURER / (S')ENTOURER DE - a(se) înconjura de
ENTRAÎNER - a cauza, a atrage după sine, a avea drept consecinţă
ENTRE - între; din, dintre
ENTRER - a intra
ENVELOPPE - învelitoare,înveliş
ENVIRON - cam, circa, aproximativ; în jur de
ENVISAGER (DE) - a proiecta, a avea intenţia să
ÉPAIS - gros, dens, compact
ÉPAISSEUR - grosime; desime; densitate; (geom.): lăţime
ÉPOQUE - epocă
ÉQUATION - ecuaţie
ÉQUIDISTANT - echidistant

[illegible] - echilibrium; stabilitate
[illegible]VALENT - echivalent; identic, egal
[illegible] - eroare, greşeală
[illegible] - eroare relativă
[illegible] - epaţiu, întindere ; răstimp, interval
[illegible] / [illegible] DE - specie, varietate, soi ; fel, calitate
[illegible] - încercare ; probă; tentativă, eşantion
[illegible] - a încerca ; a se strădui
ESSENTIEL - esenţial, fundamental, primordial
[illegible] - esenţialmente ; prin esenţă ; mai presus de orice
[illegible] (QUE) - a stabili, a demonstra, a dovedi, a proba
ETAT - stare
ETAT GAZEUX - starare gazoasă
ETENDRE (S') - a întinde, a se întinde, a se desfăşura
ETUDE (d'un phénomène, d'un sujet) - studiu, studiere, cercetare (a unui fenomen, a unei teme)
ETUDIER - a studia, a învăţa; a observa, a examina
EVALUER - a evalua, a preţui, a aprecia, a estima ; a determina (mărimea, distanţa, durata)
EVIDEMMENT - evident, vădit, fără îndoială ; desigur, bineînţeles
EVIDENT - evident, neîndoielnic, de necontestat, clar, limpede
EVITER - a evita, a se feri de, a ocoli
EVOLUTION - evoluţie, dezvoltare; transformare
EXACT - exact, precis ; întocmai, adevărat, fidel
EXACTEMENT (în mod) exact, cu precizie, întocmai
EXAMINER - a examina, a observa, a cerceta cu atenţie
EXCES - exces, surplus (PAR EXCES - prin adaos)
EXEMPLE - exemplu, pildă, model (PAR EXEMPLE - de exemplu)
EXIGER - a pretinde, a cere ; a obliga, a impune; a necesita (L'expérience exige une température constante - experienţa necesită o temperatură constantă)
EXISTENCE - existenţă, viaţă
EXISTER - a exista, a fi, a se afla; (impers.) il existe - este, se află, există
EXPERIENCE - experienţă
EXPERIMENTAL - experimental
EXPLIQUER - a explica, a lămuri, a arăta ; (S') EXPLIQUER PAR - a se explica prin

EXPRESSION - expresie (mat.) (EXPRESSION ALGEBRIQUE - expresie algebrică)
EXPRIMER / (S') EXPRIMER EN - a (se) exprima ("La convergence d'une lentille s'exprime en dioptries" - convergenţa unei lentile se exprimă în dioptrii)
EXTÉRIEUR - exterior, extern
EXTÉRIEUR (subst.) - exterior, aparenţă
EXTÉRNE - extern, în afară, la exterior (FACE EXTÉRNE - faţă exterioară)
EXTRAIRE - a extrage, a scoate
EXTRÊME - extrem, ultim
EXTRÉMITÉ - extremitate, capăt (À L'EXTRÉMITÉ DE - la capătul)

- F -

FACE - faţă, figură ; suprafaţă, faţă, parte (FACE VENTRALE - parte ventrală ; EN FACE DE - în faţa)
FACILE - uşor, lesnicios
FACILEMENT - lesne, uşor, cu uşurinţă
FAÇON - mod, fel, manieră (DE FAÇON À - ca să...)
FACTEUR - factor
FAIBLE - slab, fără intensitate, fără tărie; lipsit de rezistenţă; insuficient
FAISCEAU - fascicul
FAISCEAU LUMINEUX - fascicul luminos
FAIT - fapt, caz, eveniment ; faptă, acţiune ; subiect, chestiune, problemă
FALLOIR (QUE) - vezi IL FAUT
FAMILLE - familie, categorie
FER - fier (OXYDE DE FER - oxid de fier)
FERMER (SE) - a (se) închide ; a îngrădi, a împrejmui ; a împiedica, a opri
FIGURE - figură (geom.); înfăţişare, aspect
FIGURER - a înfăţişa, a reprezenta (printr-o imagine)
FIL - fir: fibră textilă, fir de metal
FIN - (adj.) fin (subţire, mărunt, ascuţit)
FIN - (subst.) capăt, sfîrşit, încheiere ; scop, ţel, destinaţie
FINALEMENT - în cele din urmă ; în definitiv
FINIR - v.t.: a termina, a sfîrşi, a încheia ; a înceta ; a desăvîrşi ; v.i.: a înceta, a se termina
FIXE - fix, imobil, nemişcat; stabil, permanent; precis, exact

FIXER (SE) - a (se) fixa, a(se) stabili (SE FIXER À UN CERTAIN NIVEAU/DANS UN CERTAIN ÉTAT - a se fixa la un anumit nivel/într-o anumite stare)
FOIS - dată, oară
FONCTION - funcţie (mat.),funcţiune, acţiune (chim./fiziol.)
FONCTION LINÉAIRE - funcţie liniară
FONCTIONNEMENT - funcţionare
FONCTIONNER - a funcţiona,a-şi îndeplini funcţia
FOND - fund ; fond, esenţă
FONDAMENTAL- fundamental, principal, esenţial
FORCE - forţă, putere ; rezistenţă, soliditate ; intensitate, tărie
FORMATION - formaţie, formare
FORME - formă ; înfăţişare,aparenţă; aspect
FORMER (SE) - a forma, a da formă; a alcătui, a constitui ; a lua formă de ; a se forma
FORMULE - formulă (mat./chim.)
FORT - (adj.) - puternic;solid ; simţitor,sensibil,considerabil : UNE FORTE PENTE - o pantă considerabilă
FORTEMENT - cu forţă,cu putere,tare
FOURNIR - a furniza, a aproviziona ; a procura, a aduce ; a face, a efectua
FRACTION - fracţie (mat.) ; parte, fracţiune, fragment
FRAGMENT - fragment
FROID - (adj.) - rece
FROTTEMENT - frecare
FUSION - fuziune ; topire ; fuzionare,contopire,amestec,îmbinare

- G -

GAUCHE - stîng
GAZ - gaz; fluid
GAZ CARBONIQUE - bioxid de carbon
GAZEUX - gazos
GÉNÉRAL - (adj.) - general ; vag, nedeterminat
GÉNÉRALEMENT - în (mod) general , în mod obişnuit, de obicei
GÉNÉRALISER (SE) - a (se) generaliza
GENRE - gen ; fel, tip, soi, specie, varietate ; mod, fel
GÉOMÉTRIQUE - geometric
GLISSER / (SE) GLISSER DANS,SOUS - a (a)luneca, a glisa ; a se strecura
GOUTTE - picătură, strop
GRACE À - graţie, datorită
GRADUER / (SE) GRADUER EN - a (se) grada, a împărţi în grade
GRAIN - grăunte; fir (de nisip); bob,boabă (de strugure)
GRAND - mare, vast, important
GRANDEUR - mărime, dimensiune
GRAPHIQUE - (subst.,adj.) - grafic
GRAPHIQUEMENT - în mod grafic, prin procedee grafice
GROS - gros, mare
GROSSISSEMENT - îngroşare,mărire
GROUPE - grup, grupă

- H -

HAUT - înalt
HAUTEUR - înălţime
HOMOGÈNE - omogen
HOMOLOGUE - omolog
HORIZONTAL - orizontal (PLAN HORIZONTAL - plan orizontal)
HUMIDE - umed
HYDROGÈNE - hidrogen
HYPOTHÈSE - ipoteză

- I -

ICI - aici
IDENTIQUE À - identic, aidoma
IDENTITÉ - identitate
IL FAUT (QUE) - trebuie (ca)
IL S'AGIT (DE/QUE) - este vorba de; trebuie să
IL SUFFIT (DE/QUE) - ajunge să.../ e suficient ca...
IL Y A - există, se află
IMAGE - imagine, figură, formă ; reflectare, oglindire
IMAGE RÉELLE - imagine reală
IMMÉDIAT - imediat, instantaneu, pe loc
IMMÉDIATEMENT - imediat, pe loc, numaidecît, pe dată
IMMOBILE - imobil, nemişcat, fix, neclintit
IMPAIR - impar, fără soţ
IMPORTANCE - importanţă, însemnătate
IMPORTANT - important,însemnat,considerabil
IMPOSER (S') - a (se) impune
IMPOSSIBLE - imposibil, irealizabil
INCLINER (S') - a (se) înclina, a (se) apleca
INCOLORE - incolor
INCONNUE - (subst.) necunoscută
INDÉPENDANT - independent ; liber
INDICE - indicaţie, indiciu, indice
INDIQUER / S'INDIQUER PAR - a (se) indica, a(se) arăta ; a face cunoscut, a semnala; a determina, a fixa

INDISPENSABLE - indispensabil
INÉGALITÉ - inegalitate (mat.)
INFÉRIEUR / INFÉRIEUR (À) - inferior / mai mic (ca)
INFINI - infinit , nemărginit,nesfîrşit, nelimitat (À L'INFINI - la nesfîrşit, la infinit)
INFINITÉ - infinitate
INFLUENCE - influenţă, înrîurire (SOUS L'INFLUENCE DE - sub influenţa)
INITIAL - iniţial (VITESSE INITIALE - viteză iniţială)
INSCRIRE (S') - a (se) înscrie
INSTANT - moment, clipă
INSTANT INITIAL - moment iniţial
À CHAQUE INSTANT - în fiecare clipă
INTENSITÉ - intensitate
INTÉRÊT - interes
INTÉRIEUR -(adj.) intern, interior ; (subst.) interior
INTERNE - intern, interior
INTERPRÉTATION - interpretare,comentare, explicare
INTERPRÉTER (S') - a (se) interpreta, a comenta, a explica
INTERSECTION - intersecţie,întretăiere(POINT D'INTERSECTION - punct de intersecţie)
INTERVALLE - interval, distanţă ; răstimp
INTERVENIR - a interveni, a surveni, a se ivi, a se întîmpla, a avea loc, a se produce
INTRODUIRE / S'INTRODUIRE DANS - a introduce, a include, a include, a insera
INVERSE - invers, opus, inversat ; (subst.) invers, contrariu
INVERSEMENT - (în mod) invers
ISOCÈLE - isoscel (TRIANGLE ISOCÈLE - triunghi isoscel)
ISOLER (S') - a (se) izola, a separa, a despărţi
ISSU DE - provenit, ieşit din...

- J -

JAMAIS - niciodată ; vreodată
JAUNE - galben (adj.,subst.)
JEUNE - tînăr
JOINDRE (SE) - a împreuna, a uni, a îmbina ; a adăuga ; a ajunge, a prinde ; a se îmbina, a se uni
JOUER - a juca ; a merge, a funcţiona (despre mecanisme)
JUSQU'À - pînă(la,în)

- L -

LÀ - acolo, colo
LA PLUPART - cea mai mare parte, majoritatea
LABORATOIRE - laborator
LAISSER - a lăsa,a da drumul ; a permite, a admite, a îngădui ; a înceta, a întrerupe(o activitate)
LAME - lamă, tăiş
LARGE - lat; întins, mare, vast
LATÉRAL - lateral
LE LONG DE - de-a lungul
LÉGER - uşor ; fără importanţă,superficial
LÉGÈREMENT - (în mod) uşor, superficial
LENT - încet, lent
LENTEMENT - (în mod) lent, încet
LIBÉRER (SE) - a (se) elibera, a pune în libertate (vorbind despre energie,gaz etc.)
LIER (SE) - a (se) lega, a (se) uni
LIEU - loc ; loc geometric
LIEU GÉOMÉTRIQUE - loc geometric
LIGNE - linie, contur; rînd
LIMITE - limită, margine
LIMITER / (SE) LIMITER À - a (se) limita, a (se) mărgini
LINÉAIRE - liniar (FONCTION LINÉAIRE - funcţie liniară)
LIQUIDE - lichid (subst.,adj.)
(AIR LIQUIDE - aer lichid)
LIRE (SE) - a (se) citi
LOI - lege, normă, regulă
LOIN (DE) - departe (de)
LONG - lung, îndelungat
LONGTEMPS - multă vreme, timp îndelungat
LONGUEUR - lungime ; durată (de timp)
LONGUEUR D'ONDE - lungime de undă
LORSQUE - cînd, atunci cînd,în caz că, în cazul cînd
LOURD - greu
LUMIÈRE - lumină
LUMIÈRE BLANCHE - lumină albă
LUMINEUX - luminos, strălucitor
(RAYON LUMINEUX - rază luminoasă)

- M -

MACHINE - maşină ; vehicul ; aparat
MACHINE À VAPEUR - maşină cu abur
MAINTENANT - acum, în prezent, azi, actualmente
MAINTENIR (SE) - a(se) menţine, a (se) susţine, a rămîne, a (se)păstra, a (se) conserva
MAIS - dar, ci,însă

MANIÈRE - manieră, chip, fel, soi, mod (DE MANIÈRE À - în așa fel, încît)
MARQUER - a marca, a însemna ; a înscrie, a nota ; a arăta, a indica
MASSE - masă (fiz.) ; bloc compact ; cantitate, grămadă, sumedenie
MATIÈRE - materie, substanță ; material
MATIÈRE ORGANIQUE - materie organică
MAXIMUM / MAXIMAL - maxim, maximal, maximun, cel mai mare
MÉCANIQUE - mecanic (ÉNERGIE MÉCANIQUE - energie mecanică)
MÉCANISME - mecanism, mașinărie
MÉDIANE - mediană (geom.)
MÉDIATRICE - mediatoare (geom.)
MÉLANGE - amestec, amestecare
MÉLANGER (SE) / (SE) MÉLANGER À, AVEC - a amesteca / a(se) amesteca cu
MEMBRE - membru (mat./anat.)
MÊME - (adj.,pron.):același, identic ; (adv.): chiar, chiar și; tot astfel și
MENER - a duce, a trage, a trasa ("mener une parallèle à une droite" - a duce o paralelă la o dreaptă)
MER - mare (EAU DE MER - apă de mare)
MERCURE - mercur
MESURE - măsurare ; măsură, dimensiune
MESURE ALGÉBRIQUE - măsură algebrică
MESURER (SE) / (SE) MESURER EN - a (se) măsura în ; a măsura(a avea o anumită dimensiune)
MÉTAL - metal
MÉTALLIQUE - metalic, de metal (OXYDE MÉTALLIQUE - oxid metalic)
MÉTHODE - metodă ; mod, fel manieră de a proceda ; sistem de lucru
METTRE - a pune, a așeza
METTRE EN ÉVIDENCE - a pune în evidență
MIS EN ÉVIDENCE - pus în evidență
MICROSCOPE - microscop
MIEUX - mai bine
MILIEU - 1.mijloc, centru; jumătate; 2. mediu
MILLION - milion
MINCE - subțire
MINIMUM - (subst.) minim
MINIMUM / MINIMAL - (adj.) minim, cel mai mic
MOBILE - (adj.) - mobil ; schimbător, inconstant, labil
MOBILE - (subst.) - 1.mobil; corp în mișcare ; 2.cauză, mobil, motiv, temei
MODE - (subst.masc.) - 1.mod, chip, fel ; 2.modalitate, mijloc ; 3.metodă, formă ; procedeu
MODIFIER (SE) - a(se)modifica, a(se) preface, a (se) transforma
MOINS (DE)/(QUE) / MOINS...QUE - mai puțin (de/decît)
MOITIÉ - jumătate
MOLÉCULE - moleculă
MOMENT - moment, clipă, secundă (AU MOMENT DE - în momentul...)
MONTER - a monta, a asambla, a organiza (vorbind despre un aparat, o experiență etc.) ; a urca
MONTRER - a arăta; a expune, a prezenta ; a indica, a desemna ; a vădi, a dovedi, a manifesta
MORCEAU - bucată, tranșă ; fragment, porțiune
MOTEUR - motor (subst./adj.)
MOTEUR THERMIQUE
MOUVEMENT - mișcare ; circulație; agitație, frămîntare ; schimbare
MOUVEMENT UNIFORME - mișcare uniformă
(EN MOUVEMENT - în mișcare)
MOYEN - (adj.) mijlociu, mediu (PUISSANCE MOYENNE - putere medie)
MOYEN - (subst.) - mijloc, mod modalitate (AU MOYEN DE... - prin mijlocirea..., cu ajutorul..., datorită)
MOYENNE - medie(mat.)
MOYENNE PROPORTIONNELLE - medie proporțională
MULTIPLE - (subst.): multiplu ; (adj.): multiplu, numeros, variat, felurit
MULTIPLICATION - multiplicare, înmulțire
MULTIPLIER (SE) - (se) multiplica, a (se) înmulți
MUNIR DE (SE) - a înzestra, a echipa, a aproviziona

- N -

NAÎTRE - a se naște, a apărea, a proveni
NATURE - natură, (caracter) specific ; specie, soi, fel, sort
NATUREL - natural, din natură, de la natură ; firesc ; existent în natură
NÉCESSAIRE - necesar, folositor, trebuincios, indispensabil ; inevitabil, neapărat, de neînlăturat
NÉGATIF - negativ (NOMBRE NÉGATIF - număr negativ ; ÉLECTRICITÉ NÉGATIVE - electricitate negativă)
NÉGLIGEABLE - neglijabil, neînsemnat
NETTEMENT - (în mod) clar, limpede, lămurit
NEUTRE - neutru
NIVEAU - nivel ; stadiu, treaptă

NOIR - negru
NOM - nume (SOUS LE NOM DE - sub numele de)
NOMBRE - număr
NOMBRE ALGÉBRIQUE - număr algebric
NOMBRE ENTIER - număr întreg
NOMBRE POSITIF - număr pozitiv
NOMBREUX - numeros
NOMMER (SE) - a (se) numi
NORMAL - normal,conform normelor
NORMALE (subst.fem.) - normală (geom.)
NOTATION - notaţie, notare
NOTER (SE) - a(se) nota
NOTION -noţiune
NOUVEAU - nou
NOYAU - nucleu, parte centrală
NUL - nul; nici unul
NUMÉRIQUE - numeric (VALEUR NUMÉRIQUE - valoare numerică)

- O -

OBJET - obiect, lucru
OBLIQUE - oblic, aplecat
OBSERVATEUR(subst.) - observator
OBSERVATION - observare, observaţie, cercetare, examinare
OBSERVER (S') - a (se) observa, a examina, a cerceta, a urmări
OBTENIR/(S') OBTENIR PAR - a obţine/ a (se) obţine prin
OBTENU (PAR) - obţinut (prin)
OCCUPER - a ocupa (spaţiu/timp)
OEIL - ochi
ONDE - undă (ONDE HERTZIENNE - undă hertziană)
OPÉRATION - operaţie, acţiune, lucrare; (mat.) - operaţie, calcul
OPPOSER (S') / (S')OPPOSER À - a opune, a pune (faţă) în faţă, a compara / a(se)opune, a (se) împotrivi
OPPOSÉ (À) - opus,(aşezat)în faţă, (în partea) dimpotrivă ; contrar, potrivnic
OR (conj.) - or, dar, însă ; deci, aşadar
ORDINAIRE(adj.) - ordinar, obişnuit ; banal, comun
ORDONNÉE (subst.fem.) - ordonată
ORDRE - ordine, succesiune ; ordin, categorie, rang
ORGANE - organ (al unui animal) ; piesă, organ (de maşină)
ORIENTER / (S')ORIENTER VERS - a orienta, a îndrepta / a (se) orienta (către)
ORIENTÉ - orientat, îndreptat
ORIGINE - origine, obîrşie, izvor ; provenienţă (À L'ORIGINE [illegible] - la originea)
OSCILLATION - oscilaţie, oscilare
OUVRIR/(S')OUVRIR - a (se) deschide
OUVERT - deschis
OXYDATION - oxidare
OXYDE - oxid(OXYDE DE CARBONE - oxid de carbon)
OXYGÈNE - oxigen

- P -

PAIR(adj.) - par,cu soţ (NOMBRE PAIR - număr par)
PAR CONTRE - în schimb
PAR DÉFAUT - în lipsă
PAR DÉFINITION - prin definiţie
PAR EXEMPLE - de exemplu
PAR RAPPORT À - faţă de, în raport cu, în comparaţie cu, în conformitate cu...
PAR SUITE (DE) - ca o consecinţă (a)..., ca urmare (a)...
PARAÎTRE - a părea, a arăta
PARALLÈLE - (adj.)paralel,-ă; (subst.fem.) paralelă
PARALLÈLEMENT - (în mod) paralel
PARALLÉLOGRAMME - paralelogram
PARAMÈTRE - parametru
PARCE QUE - pentru că, fiindcă, deoarece
PARCOURIR - a parcurge, a străbate
PARCOURU - parcurs, străbătut
PARFAIT - perfect (CARRÉ PARFAIT - pătrat perfect)
PARFAITEMENT - (în mod) perfect
PARFOIS - uneori, cîteodată, din cînd în cînd
PARMI - printre
PAROI - perete; faţă laterală (a unui perete); suprafaţă interioară (a unui vas, a unui recipient)
PART - parte,porţiune, fragment
PARTAGER (SE) - a(se) împărţi, a (se) diviza, a fi divizat sau divizibil
PARTICULE - particulă
PARTICULIER - deosebit,special, remarcabil; particular specific (CAS PARTICULIER - caz particular)
PARTIE - parte (EN GRANDE PARTIE - în mare parte)
PARTIEL - parţial
PARTIR (DE) - a pleca, a porni, a-şi avea obîrşia, a începe, a proveni; a se pune în mişcare,în funcţiune

PASSAGE - trecere, traversare, loc de trecere; pas, trecătoare; pasaj
PASSER - a trece, a traversa, a circula
PENDANT(QUE)- în timpul, în timp ce
PÉNÉTRER (DANS) - a pătrunde, a intra; a străbate, a străpunge
PENTE - pantă, povîrniş, versant; (geom.)înclinare
PERDRE - a pierde
PÉRIMETRE - perimetru; contur, liliă (a unei zone)
PÉRIODE - perioadă, epocă, interval, răstimp; (fiz.) perioadă, ciclu
PÉRIODIQUE(adj.) - periodic
PERMETTRE - a permite, a îngădui; a face posibil
PERPENDICULAIRE - (adj.) perpendicular; (subst.) perpendiculară
PESANTEUR - greutate, gravitaţie
PESER - a cîntări: a avea o anumită greutate; a efectua o cîntărire
PETIT - mic ; (fig.) mărunt, fără importanţă, neînsemnat
PEU (DE) - puţin
PHASE - fază, stadiu, etapă, perioadă
PHÉNOMÈNE - fenomen
PHYSIQUE (adj) - fizic (PROPRIÉTÉS PHYSIQUES - proprietăţi fizice)
PIECE - bucată, parte, fragment, piesă
PIED - picior (AU PIED DE...- la poalele...)
PIERRE - piatră
PLACE - loc, amplasare (À LA PLACE DE - în locul... ; METTRE EN PLACE - a amplasa)
PLACER (SE) - a plasa, a amplasa
PLAN - (subst.masc.) plan, suprafaţă plană; (adj.) - plan, plat, neted
PLAQUE - placă, disc, tăbliţă
PLAT (adj.) - plat, plan, neted
PLEIN (adj.) - plin, compact, complet, întreg
PLOMB - plumb
PLONGER - a scufunda, a cufunda, a băga
PLUS (DE/QUE) / PLUS...QUE - mai, mai mult (de/decît) / mai... decît
PLUS OU MOINS - mai mult sau mai puţin
PLUSIEURS - mai mulţi, cîţiva ; unii
POIDS - greutate, pondere
POINT - punct (POINT DE CONTACT - punct de contact)
POINT D'INTERSECTION - punct de intersecţie
POINT DE RENCONTRE - punct de întîlnire
POINTE - vîrf, capăt ascuţit
PÔLE - pol
POLYGONE - poligon
POLYNÔME - polinom
PORTER - a purta, a duce, a susţine; a transporta, a căra
PORTÉ PAR - purtat, dus, susţinut de
PORTER - a înscrie: PORTER DES RÉSULTATS SUR UN TABLEAU - a înscrie rezultatele într-un tabel
PORTER À - a aduce la: PORTER À L'ÉBULLITION - a aduce la/în stare de fierbere
PORTION - parte, porţiune, bucată
POSER / (SE) POSER SUR - a aşeza, a pune, a instala, a monta ; a stabili
POSITIF(adj.) - pozitiv(NOMBRE POSITIF - număr pozitiv ; PÔLE POSITIF - pol pozitiv)
POSITION - poziţie, aşezare ;
POSSÉDER - a poseda, a avea, a deţine
POSSIBILITÉ - posibilitate
POSSIBLE - posibil, cu putinţă
POSTÉRIEUR (À) - 1.posterior, ulterior; 2.posterior, în spate, pe partea dinapoi
POUDRE - pudră, pulbere, praf
POUR - pentru; în locul, în schimbul; drept, ca, în calitate de; spre, către
POUR QUE - pentru ca
POURQUOI - de ce, pentru ce, din ce cauză
POUVOIR - 1.a putea, a fi în stare, a fi capabil ; 2.a fi posibil a se putea, a fi cu putinţă ; 3. a avea influenţă, a avea latitudinea
PRATIQUE - practic
PRATIQUEMENT - (în mod) practic, în practică, de fapt
PRÉCÉDEMMENT - înainte, mai înainte, anterior
PRÉCÉDENT(adj.) - precedent, anterior ; premergător
PRÉCÉDER - a preceda, a fi anterior ; a exista înainte de
PRÉCIS (adj.) - precis, fix, exact ; clar, limpede
PRÉCISER (SE) - a preciza, a exprima cu precizie ; a lămuri
PRÉCISION - precizie, exactitate
PRENDRE - (abstr.)1.a lua, a utiliza ca:"On prendra le micron pour unité"- vom utiliza ca unitate micronul; 2.a considera: "On prend x=2"- considerăm x=2 ; 3.a căpăta, a începe să aibă: "prendre une coloration, une valeur" - a căpăta o culoare, o valoare ; (concr.) a lua, a apuca, a prinde

PRÉPARATION - 1.pregătire,preparare ; 2.produs preparat
PRÉPARER (SE) - a (se) prepara, a (se) pregăti
PRÈS(DE) - aproape (de); lîngă,pe lîngă, în apropiere ; aproximativ
PRÉSENCE - prezenţă (EN PRÉSENCE DE - în prezenţa...)
PRÉSENTER - a prezenta, a arăta, a poseda ("présenter certaines caractéristiques" - a poseda anumite caracteristici)
SE PRÉSENTER - a apărea, a se înfăţişa, a se prezenta sub o anumită formă
PRESQUE - aproape, aproximativ
PRESSION - presiune (PRESSION ATMOSPHÉRIQUE - presiune atmosferică)
PRINCIPAL - principal,important,însemnat
PRINCIPE - principiu, lege, regulă
PRISME (subst.masc.) - prismă
PROBLÈME (subst.masc.) - problemă
PROCÉDÉ - procedeu, metodă, manieră, mod, fel
PROCHE (DE) - apropiat, aproape, lîngă
PRODUCTION - producere, producţie
PRODUIRE - a produce, a face, a crea ; a da, a furniza ; a da naştere, a provoca ("La réaction produit un dégagement d'hydrogène" - reacţia provoacă o degajare de hidrogen)
SE PRODUIRE - a se produce, a avea loc ("Il se produit une réaction"- se produce, are loc o reacţie)
PRODUIT - produs (mat.) (PRODUIT DE FACTEURS - produs de factori) ; (chim.) produs, preparat
PROFOND - profund, adînc
PROFONDEUR - profunzime, adîncime
PROGRESSION - 1.creştere,dezvoltare, intensificare; 2.înaintare,avansare; 3.progres; 4.progresie
PROJECTION - proiecţie (PROJECTION ORTHOGONALE - proiecţie ortogonală)
PROJETER / (SE) PROJETER EN, SUR - a proiecta / a (se) proiecta în,pe
PROLONGEMENT - prelungire,extindere
PROLONGER (SE) - a prelungi, a (se) extinde
PROPAGATION - propagare,răspîndire
PROPORTION - proporţie (EN PROPORTION VARIABLE - în proporţie variabilă)
PROPORTIONNEL (À) - proporţional (MOYENNE PROPORTIONNELLE - medie proporţională)
PROPOSER - a propune
PROPRE À - potrivit, bun, indicat
PROPRIÉTÉ - proprietate, însuşire, trăsătură caracteristică (PROPRIÉTÉS CHIMIQUES - proprietăţi chimice)
PROUVER (QUE) - a proba, a dovedi, a demonstra ; a confirma
PROVENIR DE - a proveni,a rezulta
PROVOQUER - a provoca, a produce, a pricinui, a cauza, a determina, a prilejui
PUIS - apoi, după aceea
PUISQUE - de vreme ce, din moment ce, deoarece, pentru că, fiindcă
PUISSANCE - putere, forţă (fiz.); putere (mat.) (LA PUISSANCE D'UN NOMBRE - puterea unui număr)
PUISSANT - puternic, robust, plin de forţă
PUR - pur, curat.

- Q -

QUADRILATÈRE - patrulater
QUALITÉ - calitate, însuşire
QUAND - cînd, în momentul în care, atunci cînd
QUANTITÉ - cantitate
QUEL - care, ce fel de
QUELCONQUE - oarecare
QUELQUES - nişte, unii ; cîţiva, cîteva
QUESTION - chestiune,întrebare ; problemă
QUOTIENT - (mat.) cît

- R -

RACINE - rădăcină (RACINE CARRÉE - rădăcină pătrată)
RADICAL - (subst.) radical
RAISON - 1.motiv,cauză ; 2.argument, argumentare
RAISONNEMENT - raţionament ; judecată logică
RAMENER À (SE) - 1.a întoarce,a readuce; 2.a duce; 3.a raporta; 3.a reduce
RAPIDE - rapid, repede, iute
RAPIDEMENT - cu iuţeală, cu repeziciune, cu rapiditate
RAPPORT - raport, legături, corelaţie (RAPPORT DE SIMILITUDE - raport de asemănare,de analogie)
RAPPROCHER (SE) / (SE) RAPPROCHER DE - 1.a apropia din nou ; 2.a apropia, a aduce mai aproape; 3.a stabili o apropiere, o legătură / a se apropia; (fig.) a se asemăna
RARE - 1.rar; 2.neobişnuit, excepţional; 3.scump, preţios
RASSEMBLER (SE) - 1.a aduna, a

grupa; 2.a pune în ordine; 3.(fig) a aduna, a concentra
RATIONNEL - raţional (FONCTION RATIONNELLE - funcţie raţională)
RAYON - rază
RÉACTION - reacţie
RÉAGIR - a reacţiona
RÉALISER (SE) - a (se) realiza, a (se) înfăptui, a (se) împlini, a (se) îndeplini
RECEVOIR - a primi; a căpăta, a obţine
RECHERCHE - cercetare, investigare, căutare
RÉCIPROQUE - (subs.fem.) reciproca
RÉCIPROQUEMENT - (în mod) reciproc
RECONNAÎTRE (SE) - a recunoaşte, a distinge, a identifica
RECOUPER (SE) - a (se) tăia din nou
RECOUVRIR (SE) - a reacoperi, a reînveli ; a acoperi complet ; (fig)a ascunde, a masca
RECTANGLE - (adj.) dreptunghic(TRIANGLE RECTANGLE - triunghi dreptunghic) ; (subst.masc.) - dreptunghi
RECTANGULAIRE - dreptunghiular
RECTILIGNE - rectiliniu
RECUEILLIR - a culege, a strînge,a aduna
RÉDUCTION - reducere, micşorare, scădere ; (mat.)RÉDUCTION AU MÊME DÉNOMINATEUR - aducere la acelaşi numitor ; (chim.):reducere, dezoxidare
RÉDUIRE (SE) / (SE) RÉDUIRE À - a reduce, a micşora, a scădea, a diminua ; (mat.):RÉDUIRE AU MÊME DÉNOMINATEUR - a aduce la acelaşi numitor
RÉEL - real, adevărat; efectiv, indiscutabil ; palpabil, concret
RÉGION - regiune, ţinut ; zonă,sferă, domeniu
RÈGLE - regulă, normă, principiu
RÉGULIER - regulat, ordonat, uniform ; simetric, proporţionat (POLYGONE RÉGULIER - poligon regulat)
RÉGULIÈREMENT - (în mod) regulat, cu regularitate
REJETER - 1. a arunca din nou;2.a arunca înapoi; 3.a arunca în afară
RELATIF - relativ, contingent, dependent (ERREUR RELATIVE - eroare relativă)
RELATIF À - relativ la, referitor la, privitor la, cu privire la
RELATION - relaţie, raport, legătură, contact, corespondenţă (RELATION DE CHASLES - relaţia lui Chasles) ; (EN RELATION AVEC - în relaţie, în legătură, în contact cu)
RELATIVEMENT - (în mod) relativ, întrucîtva; (în mod)proporţional
RELIER / (SE) RELIER À - a lega din nou ; (fig.): a uni, a lega, a stabili o legătură, un raport, o comunicaţie / a se lega, a se uni, a se lipi
REMARQUABLE - remarcabil, deosebit, ales
REMARQUE - 1.remarcare, observare; 2.remarcă, observaţie
REMARQUER - a observa, a remarca, a distinge
REMPLACER (SE) / (SE) REMPLACER PAR - a înlocui, a schimba, a substitui / a (se) schimba, a (se) înlocui, a (se) substitui
REMPLIR (SE) - 1.a umple; 2. a umple din nou; 3.a completa (o fişă, un formular); 4.a îndeplini, a împlini ; 5. a se umple
RENCONTRE - 1.întîlnire; 2. întretăiere, intersecţie (POINT DE RENCONTRE - punct de intersecţie)
RENCONTRER (SE) - a (se) întîlni, a (se) întretăia, a (se) intersecta
RENDEMENT - randament
RENDRE - a face să devină (RENDRE POSSIBLE - a face posibil); a da, a înapoia, a restitui
RENFERMER - a conţine
REPRENDRE - a continua, a începe din nou
REPRÉSENTATIF - reprezentativ, ilustrativ (COURBE REPRÉSENTATIVE - curbă reprezentativă)
REPRÉSENTATION - reprezentare, ilustrare, înfăţişare
REPRÉSENTER (SE) - a reprezenta, a (se) înfăţişa ; a descrie ; a arăta, a demonstra
RÉSISTANCE - rezistenţă ; (forţă, putere) de rezistenţă
RÉSISTANT - rezistent; tare, trainic
RÉSOLUTION - rezolvare, dezlegare ; hotărîre, decizie
RÉSOUDRE (SE) - a rezolva, a dezlega, a găsi soluţia, a se rezolva (RÉSOUDRE UNE ÉQUATION - a rezolva o ecuaţie)
RESPECTIF - respectiv
RESPECTIVEMENT - respectiv
RESSORT - resort, arc
RESTE - rest, rămăşiţă
RESTER - 1.a sta, a rămîne (într-o anumită stare); 2.a dura, a continua
RÉSULTAT - rezultat; urmare,consecinţă ; soluţie
RÉSULTER DE/QUE - a rezulta, a urma, a reieşi (IL EN RÉSULTE QUE...- reiese că...)

RÉSUMÉ - rezumat
RÉSUMER (SE) / (SE) RÉSUMER À - a rezuma, a reda pe scurt ; a cuprinde în sine, a însuma / a se rezuma, a se limita
RETRANCHER - 1.a tăia, a scoate, a suprima; 2. a scădea
RETROUVER (SE) - 1.a (se) regăsi ; 2. a se orienta; 3.a fi, a se afla, a se găsi
RÉUNIR (SE) - a uni, a reuni; a lega ; a grupa, a aduna, a întruni / a se întruni, a se aduna, a se strînge
REVENIR - a reveni, a se întoarce; a reapărea, a se repeta
RÉVOLUTION - revoluţie, mişcare circulară (CÔNE DE RÉVOLUTION -con de revoluţie)
RICHE (EN) - bogat (în) (vorbind de o substanţă, de un sol)
ROCHE - rocă, stîncă
RÔLE - rol ; sarcină, atribuţie, menire (JOUER UN RÔLE - a juca un rol, a avea o menire)
ROTATION - rotaţie,învîrtire; rotire (AXE DE ROTATION - ax de rotaţie)
ROUGE - roşu
RUPTURE - ruptură, rupere ; întrerupere (a contactului)

- S -

SABLE - nisip
SATISFAIRE À - a satisface, a îndeplini (SATISFAIRE À CERTAINES CONDITIONS - a îndeplini anumite condiţii)
SAUF - fără, în afară de, cu excepţia
SAVOIR - a şti, a cunoaşte, a se pricepe, a afla
SCHÉMA - schemă, schiţă ; proiect, plan
SEC - uscat, arid, sterp ; lipsit de sevă ; sec
SECTION - secţiune
SEGMENT - segment, porţiune (SEGMENT DE DROITE - segment de dreaptă)
SEL - sare(SEL FERRIQUE - sare ferică ; SEL GEMME - sare gemă)
SELON - conform, potrivit cu
SEMBLABLE - asemănător, asemenea (TRIANGLES SEMBLABLES - triunghiuri asemenea)
SEMBLER - a părea
SENS - sens, direcţie ; sens, înţeles, semnificaţie
SENSIBILITÉ - sensibilitate, precizie
SENSIBLE - sensibil
SENSIBLEMENT - în mod sensibil, simţitor
SÉPARER (SE) / (SE) SÉPARER DE - a separa, a despărţi, a izola/ a se despărţi
SÉRIE - serie, şir, succesiune, înşiruire
SERVIR (À) / (SE) SERVIR DE - a servi, a folosi / a se servi, a se folosi de
SEUL - singur, solitar ; unic
SEULEMENT - numai, exclusiv ; dar, însă ; abia, de-abia ; măcar, cel puţin
SI - dacă, cu condiţia ca, în cazul că, numai dacă
SIGNALER /(SE) SIGNALER PAR - a semnala ; a releva, a atrage atenţia ; a desemna, a indica / a se distinge
SIGNE - semn, indiciu
SIMILITUDE - similitudine, asemănare, analogie, potrivire, conformitate
SIMPLE - simplu, elementar (CORPS SIMPLE - corp simplu)
SIMPLEMENT - 1.(în mod) simplu, cu simplitate ; 2.doar, numai
SIMPLIFIER (SE) - a (se) simplifica
SIMULTANÉMENT - (în mod) simultan, concomitent, împreună
SITUER (SE) / (SE) SITUER À,EN, PAR RAPPORT À, SUR - a situa, a plasa, a amplasa, a aşeza / a se situa, a lua poziţie
SODIUM - sodiu, natriu
SOIT - fie, să luăm, să presupunem ; adică, aproximativ, cam
SOL - pămînt, sol, teren
SOLEIL - soare;(fig.) lumina soarelui
SOLIDE - (adj.)solid, rezistent, durabil, tare, dur ; (subst.masc) (fiz.)corp solid; (geom.)solid, figură cu trei dimensiuni
SOLUTION - (chim.)soluţie; dizolvare, topire ; (mat.)soluţie, rezolvare, rezultat; soluţionare
SOMME - sumă, total; (fig.)totalitate, ansamblu
SOMME ALGÉBRIQUE - sumă algebrică
SOMMET - vîrf, culme, creastă ; (fig.)culme, punct culminant, treaptă superioară, nivel înalt, apogeu
SORTE / SORTE DE - fel, soi, specie, gen ; mod, manieră
SORTIR (DE) - a ieşi ; (fig.) a proveni; a (se) răspîndi,a (se) degaja; a ieşi în afară

SOUDE - sodă
SOUFRE - sulf, pucioasă
SOULEVER (SE) - a ridica, a înălţa; a se ridica, a se înălţa
SOUMETTRE À - a supune ; (fig.) a domina, a subordona
SOURCE - izvor, origine, obîrşie, sursă
SOUS (LA) FORME DE - sub formă de
SOUVENT - adesea, des, adeseori ; în mod frecvent
SPÉCIAL - special
SPHÈRE - sferă ; (fig.) sferă,domeniu, mediu
SPHÉRIQUE - sferic
STABLE - stabil ; (fig.)statornic, durabil, constant
STRUCTURE - structură, construcţie ; conformaţie, alcătuire ; dispoziţie, aranjare, aranjament, îmbinare
SUBIR - a suferi, a suporta ; (fig)a se supune ; a susţine
SUBSTANCE - substanţă, materie ; esenţă, fond
SUCCESSIF - succesiv, continuu
SUCCESSIVEMENT - (în mod) succesiv, treptat
SUFFIRE - a ajunge, a fi suficient
SUFFISANT - suficient
SUITE -(s.fem) urmare, continuare, consecinţă ; succesiune, şir (UNE SUITE DE NOMBRES - un şir de numere)
SUIVANT - (adj.) următor
SUIVANT (QUE) - de-a lungul, în sensul, în direcţia ; după (părerea), potrivit, conform (cu) ; SUIVANT QUE - după cum..., după cît..., în funcţie de...
SUIVRE (SE) - a urma, a veni după, a continua ; a merge de-a lungul; a merge în urma, a veni după / a se succede; a se urma, a se urmări;(fig) a se înlănţui
SUJET - subiect, temă, materie, chestiune (de studiu)
SUPÉRIEUR - superior, de deasupra,mai înalt, mai sus
SUPÉRIEUR(À)- mai mare(decît)
SUPPLÉMENTAIRE - suplimentar
SUPPORT - suport, susţinere ; sprijin
SUPPORTER - a suporta, a susţine, a sprijini
SUPPOSER - a presupune, a prezuma ; a cere, a implica, a pretinde ; a imagina, a inventa, a închipui
SUPPOSÉ - presupus, admis
SUPPRIMER - 1.a suprima, a desfiinţa, a înlătura, a elimina; 2.a nimici, a extermina; 3.a anula, a abroga
SURFACE - suprafaţă ; (fig.)aparenţă, înfăţişare, exterior (À LA SURFACE DE - la suprafaţa...)
SURTOUT - mai ales, mai cu seamă, îndeosebi
SYMBOLE - simbol
SYMÉTRIE - simetrie
SYMÉTRIQUE - simetric
SYNTHÈSE- sinteză
SYSTÈME - sistem, ansamblu de principii ; sistem, mod de organizare
SYSTÈME NERVEUX - sistem nervos

- T -

TABLE - tabel, listă, tablă (TABLE TRIGONOMÉTRIQUE - tabel trigonometric)
TABLEAU - tabel, listă, tablou, grafic (TABLEAU DE VARIATION DES TEMPÉRATURES - graficul variaţiei temperaturii)
TACHE - pată (TACHE LUMINEUSE - pată luminoasă)
TANDIS QUE - pe cînd, în timp ce ; în loc să
TANGENT - tangent
TANGENTE - tangentă
TEL (QUE) / TEL...QUE - atît de, atît de...încît ; asemenea, astfel ; aşa...,ca şi...,precum...
TEL QUEL - aşa cum era, la fel cum era ; la fel, identic, aidoma, întocmai
TEMPÉRATURE - temperatură
TEMPS - timp, vreme ; durată,perioadă, epocă
TENDRE À / VERS - a tinde către, spre; a viza
TENDANT À - care tinde(către), care are drept scop...
TENIR COMPTE DE - a ţine cont de, a lua în consideraţie
TENSION - tensiune, întindere, presiune ; (fig.) tensiune, încordare
TERME - termen
TERMINER (SE) / (SE) TERMINER PAR - a termina, a sfîrşi, a încheia / a se termina, a se sfîrşi, a se încheia prin
TERMINÉ PAR - terminat cu
TERRAIN - teren, loc; sol ; domeniu (TERRAIN SÉDIMENTAIRE - sol sedimentar)
TERRE - pămînt (planeta); pămînt (sol); ţară, meleag, regiune
TERRESTRE - terestru, pămîntesc (ÉCORCE TERRESTRE - scoarţa pămîntului)
TÊTE - cap ; extremitate ; început (EN TÊTE DE - la începutul)
THÉORÈME (subst.masc.)-teoremă

THÉORIE - teorie (THÉORIE ATOMIQUE - teorie atomică)
TIGE - tulpină ; tijă
TIRER (DE) - a trage, a scoate, a extrage (din)
TOMBER - 1.a cădea, a se prăvăli ; 2. a slăbi (în intensitate,în forţă), a scădea
TOTAL - total, întreg, complet ; (fig.)total, deplin desăvîrşit(RÉFLEXION TOTALE - reflexie,reflectare totală, deplină) ; (AU TOTAL - în total)
TOUJOURS - totdeauna ; încă,mereu; totuşi, oricum
TOUR - rînd, ordine a succesiunii (CHACUN SON TOUR - fiecare la rîndul lui ; TOUR À TOUR - rînd pe rînd) ; învirtitură ; tur ; contur
TOURNER (SE) - a învîrti; a roti; a întoarce; a suci; a pivota / a se învîrti, a se roti
TOUT - (adj.) orice, oricare ; tot; întreg,întreagă ; (pron.) orice ; tot ; (adv.) cu totul; complet, în întregime; fără rezervă, fără excepţie
TRACER - 1.a trasa, a trage linii; 2.a tras (litere), a scrie; 3.(fig.) a descrie, a zugrăvi ; 4. a trasa, a indica, a da directive
SE TRADUIRE PAR/EN - a se exprima, a se reda prin
TRAITER - a trata, a prelucra ; a transforma, a modifica, a schimba
TRAJET - traiect, traseu, parcurs
TRAJECTOIRE - traiectorie
TRANSFORMATION - transformare, schimbare
TRANSFORMER (SE) / (SE) TRANSFORMER EN - a transforma, a preface, a schimba / a se transforma, a se schimba în
TRANSLATION - translaţie ; transferare
TRANSMETTRE (SE) - 1.a transmite, a trimite (un obiect) ; 2. a transmite, a comunica, a difuza, a emite (un mesaj) ; (refl.) a se transmite, a se propaga
TRAPÈZE - trapez
TRAVAIL - muncă lucru ; funcţionare
TRAVERSER (SE) - a traversa, a străbate / a se traversa, a se străbate
TRÈS - foarte
TRIANGLE - triunghi
TRIANGLE RECTANGLE - triunghi dreptunghic
TROP (DE) - prea ; prea mult
TROUVER - a găsi; a descoperi, a inventa; a găsi soluţia unei probleme, a rezolva
SE TROUVER - a se găsi, a se afla, a fi
TUBE - tub; ţeavă; conductă
TUBE À ESSAI - eprubetă
TYPE - tip, formă, model ; tip, figură ; caracteristică

- U -

UN PEU (DE) - puţin..., o cantitate mică de...
UNIFORME - uniform, nevariat,identic (MOUVEMENT UNIFORME - mişcare uniformă, cu viteză constantă)
UNIFORMÉMENT - (în mod) uniform, egal, fără variaţie, la fel ; (în mod) constant
UNIQUE - unic ; (fig.) rar, excepţional
UNIR (S') / (S')UNIR À - a uni, a lega, a îmbina ; a se uni
UNITÉ - unitate ; unitate de măsură; etalon
UNITÉ DE LONGUEUR - unitate de lungime
USAGE - întrebuinţare, folosire, uz (À L'USAGE DE - destinat să folosească cuiva, spre folosinţa cuiva ; HORS D'USAGE - uzat, scos din uz ; À USAGE (INDUSTRIEL)- cu folosire (industrială)
UTILE - util, folositor, necesar (PUISSANCE UTILE - putere utilă)
UTILISATION - utilizare, folosire, întrebuinţare
UTILISER (S') - a utiliza, a folosi, a întrebuinţa
UTILISÉ - folosit, utilizat, întrebuinţat

- V -

VALEUR - valoare
VALEUR ABSOLUE - valoare absolută
VALEUR APPROCHÉE - valoare aproximativă, apropiată
VALEUR NUMÉRIQUE - valoare numerică
VALOIR - 1. a valora; 2.a echivala, a egala, a însemna, a face cît...; 3.a merita, a face
VAPEUR - (subst.fem.) - vapori, aburi (VAPEUR D'EAU - vapori de apă)
VARIABLE - (adj.) variabil ; (subst.fem.) variabilă

VARIATION - variaţie, schimbare
VARIER - a varia, a schimba; a-şi schimba valoarea
VARIÉ - variat, felurit, diferit
VECTEUR - vector (VECTEUR VITESSE- vectorul vitezei)
VENIR - a veni, a sosi, a ajunge; a proveni
EN VENIR À - a ajunge la...; a fi constrîns să...; a recurge la...
VÉRIFIER (SE) - 1.a verifica, a confirma; 2. a controla, a examina, a revizui / a se verifica, a se confirma
VÉRITABLE - 1.veritabil, adevărat; 2. real, atentic
VERRE -1.sticlă (materia); 2.geam; 3. lentilă(de ochelari)
VERS - către, spre
VERSER - a vărsa, a turna
VERT - verde
VERTICAL - vertical (PLAN VERTICAL - plan vertical)
VERTICALE - (linie) verticală
VIDE - gol, vid
VIE - viaţă, existenţă
VISIBLE - vizibil ; evident, vădit, neîndoielnic
VITESSE - viteză, rapiditate (VITESSE ANGULAIRE - viteză unghiulară)
VIVRE - a trăi, a exista, a vieţui; (fig.) a dăinui, a dura, a se perpetua
VOIR (SE) - a vedea ; a privi ; a observa, a examina /(refl.) a fi vizibil
VOIR (QUE) - a constata, a remarca (că) ("On voit que la pression maximale varie avec la nature du corps pur" - se constată că presiunea maximă variază în funcţie de natura substanţei pure)
VOISIN (DE) - 1.vecin, învecinat; 2. apropiat, înrudit; 3. apropiat, asemănător, analog
VOLUME - volum, spaţiu (ocupat de un corp)
VOULOIR - a vrea, a voi ; a cere, a pretinde
VRAI - adevărat ; veritabil,

- Z -

ZINC - zinc (SULFATE DE ZINC - sulfat de zinc)
ZONE - zonă

TABLE DE MATIÈRES

Page

CUVÎNT INTRODUCTIV I

A. TEXTES DE MATHÉMATIQUES

Notations et définitions générales 1
Géométrie 8
Théorèmes 13
Exercices et problèmes 19
Principaux symboles utilisés en mathématiques 22

B. TEXTES DE MÉCANIQUE

Statique 24
Cinématique 31
Dynamique 36
Exercices et problèmes 40

C. TEXTES D'ÉLECTRICITÉ

Électrostatique 43
Électrocinétique 47
Électromagnétisme 53
Exercices et problèmes 56
Principaux symboles de grandeurs utilisées en électricité... 58

D. TEXTES DE CHIMIE MINÉRALE

La notation chimique 59
La classification périodique des éléments 61
Le mécanisme des réactions chimiques 62
Le carbone 67
Les éléments chimiques et leurs symboles 73

E. TEXTES DE CHIMIE ORGANIQUE

Historique et définition 74
Caractères des substances organiques 75
Les mécanismes des réactions organiques 80
Classification des réactions organiques 85
Exercices et problèmes 88

VOCABULAR GENERAL DE ORIENTARE STIINTIFICA FRANCEZ-ROMÂN.... 90

Scanned with OKEN Scanner